

22430/H/05

TUGAS AKHIR

KS 1701



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

**ANALISA TEKNIS EKONOMIS PERBANDINGAN METODE
ANODA TUMBAL DAN METODE ARUS TERPASANG PADA
PENCEGAHAN KOROSI BADAN KAPAL**



RSSP
623.848
Yuw
8-1
2004

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	11-8-2004
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	771206

Disusun Oleh :

M. BURHANUDIN YUWONO

NRP : 4201 109 513

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2004

LEMBAR PENGESAHAN

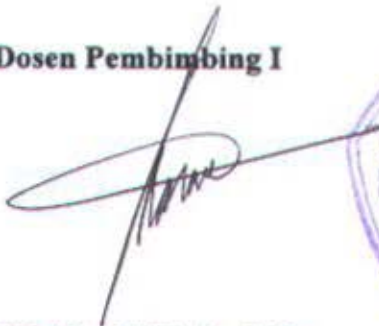
ANALISA TEKNIS EKONOMIS PERBANDINGAN METODE ANODA TUMBAL DAN METODE ARUS TERPASANG PADA PENCEGAHAN KOROSI BADAN KAPAL

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Menyetujui,

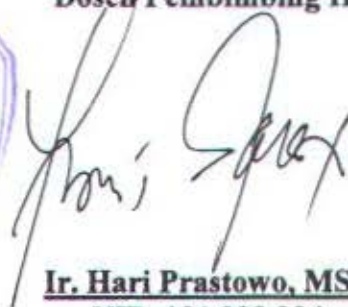
Dosen Pembimbing I



Ir. H. Alim Widodo, MSc.
NIP. 131 474 402



Dosen Pembimbing II



Ir. Hari Prastowo, MSc.
NIP. 131 933 294



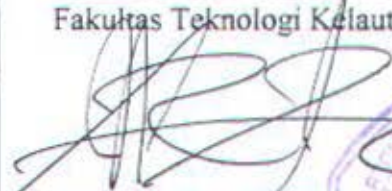
SURAT KEPUTUSAN Pengerjaan Tugas Akhir
(KS 1701)

Sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS, maka perlu diterbitkan Surat Keputusan Pengerjaan Tugas Akhir yang memberikan tugas kepada mahasiswa tersebut dibawah ini untuk mengerjakan Tugas sesuai judul dan lingkup bahasan yang telah ditentukan.

Nama Mahasiswa : M. BURHANUDIN YUWONO
NRP : 4201 109 513
Dosen Pembimbing : 1. Ir. H. Alim Widodo, Msc.
2. Ir. Hari Prastowo, Msc.
Tanggal diberikan tugas :
Tanggal diselesaikan tugas :
Judul Tugas Akhir :

ANALISA TEKNIS EKONOMIS PERBANDINGAN METODE ANODA
TUMBAL DAN METODE POTENSIAL PERLINDUNGAN KATODIK PADA
PENCEGAHAN KOROSI BADAN KAPAL

Surabaya,
Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan-ITS



Ir. Surjo W. Adji Msc
NIP. 131 879 390



Surabaya,
Yang menerima tugas:

Mahasiswa

M. BURHANUDIN Y.
NRP. 4201 109 513

Dosen Pembimbing I

Ir. H. ALIM W., Msc
NIP. 131 474 402

Dosen Pembimbing II

Ir. HARI P., Msc
NIP. 131 933 294

*To my love your patience, your spirit, your believe ness, it's all give me a hope to
finish my final exam.
My love thanks to you.*

ABSTRACT

Generally, corrosion is the desructive attack of a material with its environment. In a ship corrosion not little problem, cause can be reduce the productivity and this very harmful. One solution of the corrosion prevent with cathodic protection methode. The kind of cathodic protection is SACP methode (Sacrificial Anodes Cathodic Protection) and ICCP methode (Impressed Current Cathodic Protection).

Some case will be done in the final project, that's estimation zinc anodes needs with its construction, to know economy and technical SACP methode. Further, estimation economy and technical ICCP methode. That's all compare both. For the first step of the final project is estimstion the ship WSA's (Wetted Surface Area), the anoda needs hanged the wide of WSA.

For the last step of this final project is get the most economy cathodic protection methode can be use to corrosion protection of the ship.

ABSTRAK

Secara umum korosi diartikan sebagai suatu proses kerusakan atau keausan material akibat terjadi reaksi dengan lingkungan. Dalam sebuah kapal korosi merupakan suatu masalah yang tidak kecil, karena dapat menurunkan produktivitas kapal dan ini akan sangat merugikan. Salah satu cara pencegahan korosi adalah dengan metode katodic protection. Dalam hal ini katodic protection dibedakan menjadi dua yaitu metode SACP (Sacrificial Anodes Cathodic Protection) dan metode ICCP (Impressed Current Cathodic Protection).

Beberapa hal yang dikerjakan dalam tugas akhir ini antara lain adalah melakukan penghitungan zinc anode yang dibutuhkan serta teknis pemasangannya, ini dilakukan untuk mengetahui sisi teknis dan ekonomis dari metode SACP. Selanjutnya melakukan penghitungan baik teknis maupun ekonomis dengan metode ICCP. Dari hasil penghitungan tersebut dapat dibandingkan baik dari sisi teknis maupun ekonomis kedua metode ini. Keluaran dari penulisan tugas akhir ini adalah membahas tingkat kelayakan pemakaian cathodic protection jenis Zn, Al, dan ICCP. Dalam tugas akhir ini juga akan membahas rekomendasi pemilihan jenis cathodic protection yang layak dipakai untuk perlindungan badan kapal.

Sebagai langkah akhir dari tugas akhir ini adalah mencari metode katodic protection paling ekonomis yang dapat digunakan dalam perlindungan korosi pada badan kapal.

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya maka kami sebagai penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul :

ANALISA TEKNIS EKONOMIS PERBANDINGAN METODE ANODA TUMBAL DAN METODE ARUS TERPASANG PADA PENCEGAHAN KOROSI BADAN KAPAL

Ucapan terima kasihku kepada kedua orang tuaku tercinta, yang tak henti – hentinya selalu berdoa, berdzikir, sholat Tahajjud, dan segala usaha untuk membantuku dalam menyelesaikan TA ini. Mom..... U're the best mother in the world (2me). Dad U're the greatest n the best – lah (segala – galanya). Thank you mom, thank you dad, your support was gave me any idea to finish my final exam. Thank you very very very much. I love both of you.

Tak lupa ucapan terima kasihku kepada :

1. Bapak Ir. Suryo W. Adji, Msc selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan dan dosen waliku atas segala nasihat dan bimbingannya selama masa kuliah.
2. Bapak Ir. Alim Widodo, Msc dan Bapak Ir. Hari Prastowo, Msc selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran dan segala bentuk bantuan yang akhirnya dapat membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga segala bentuk kebaikan bapak dosen pembimbing dapat diterima dan dibalas oleh Allah SWT.
3. Dosen – dosen jurusan Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan ilmu kepada penulis pada khususnya, serta mahasiswa pada umumnya. Semoga ilmu yang telah bapak- bapak berikan dapat bermanfaat bagi kami dalam mencapai masa depan yang cerah.
4. Mas Isya dari PT. Kartini Utama dan Pak Matrini dari PT. PAL, atas segala data dan informasi yang telah diberikan.

Semoga segala kebaikan bapak – bapak dosenku tercinta dan semua pihak yang telah membantu kami, dapat diterima dan dibalas oleh Allah SWT. Amin.

To my beloved wife -Ida-, honey ... Finally I've got my bachelor degree. Thank you very much dear, your love, your support for me..... it makes me so peaceful in my heart and that's why you're so mean to me in my life, in our life. I love you so much dear, very much.

To my "sephia" – Angelia Rahma Dewi..... dear, thank you for your pray 4 me. N thank you for your love, your attention, your heart, everything..... You are my love, my heart, n my life.

Buat teman – teman :

1. Anak – anak kontrakan Mulyosari BPD kav. 2 – C and Chtulhu Football Club :

- Mundakir, ST. (boswis ga usah stress lagi lah, dah lulus tuh n cepet kawin jack !!!!).
- Teddy, ST. (ted... dah punya pacar belom sih ? Cepetan jack, keburu 30 man..... N thank's 4 everything man !!!).
- Pendos, ST. (sama kayak teddy..... cepet nikah man !!! Makasih atas kenalin aku ama mas Isya yoo....).
- Harries B., ST. or Chow ST. (tetep gendut bro..... makasih buat perbaiki komputernya yaa, tanpa kau apalah artinya komputerku ini.....puitis banget !!!)
- Qohi; yang belum ST. (keep rocking man.....cepat lulus yaa !!).
- Erfan ndut ; yang mau TA (diet donk tuh perut dah buncit terus lo... he... he...; thank's 4 everything n cepet lulus ndut !!)
- Imron, ST (Pron....makasih buuuuuuanyaaaak buat informasinya yaaaaa !!! U're great man rukun ya ama Nia n Imron junior-nya !!).
- Bom – Bom Faix (sabar jack.....yang penting Bianconeri juara Seri A n Champions League yah, pokoke siiip lah !!!).
- Canug's (tur..... kapan arek2 dapet tiket nonbar dari Extra Jos ? cepet lulus SI yaa !!).
- Irfan – Medan (bro.....kerjain tuh RU-nya, jgn chatting n friendster doang !!).
- Christian "Beo" Vieri (Inter ga bakal juara seri A man..... he3x).
- Budi Madroi (masih ama Trince kan ? kapan ke sby, Bud ?).

2. Buat teman – temanku yang lain : Mas Tri Santana (kapan incik – inciknya mas ?), Budek Gebang (kapan bisninya dimulai Bud ?), Budi Baleno n sepupunya Tedo (makasih banyak atas pinjaman printernya, sori ngrepotin !!), Basuki, Harry Kodew (sabar yooo..... !!!), Raul “Madrid” Gonzalez, Om Wahyu, I’ing, Naja, Epik – Nyoman, Berdy, Yusuf, Hendro, Eddy, Adi, Pujiyanto, Munir, cak Ri, cak Ran dan seluruh teman2 yang tidak dapat kami sebutkan satu – persatu yang telah membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini, terima kasih buuuuuuanger !!.

Penulis



DAFTAR ISI

	Hal
LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SK TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iv
ABSTRACT	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I - 1
1.2 Tujuan Penelitian	I - 2
1.3 Manfaat Penelitian	I - 2
1.4 Batasan Masalah	I - 2
1.5 Metodologi Penelitian	I - 2
1.6 Sistematika Penulisan	I - 3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Korosi	II - 1
2.1.1 Teori Kimia Terjadinya Korosi	II - 2

2.1.2 Teori Listrik Terjadinya Korosi	II - 3
2.1.3 Teori Elektrokimia Pada Proses Korosi	II - 4
2.2 Galvanic Corrosion	II - 4
2.2.1 Definisi <i>Galvanic Corrosion</i>	II - 4
2.2.2 Prinsip <i>Galvanic Corrosion</i>	II - 6
2.2.3 Prinsip Korosi Dalam Medium Elektrolit	II - 7
2.2.4 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Proses Korosi Galvanik	II - 8
2.3 Pengendalian Korosi	II - 9
2.3.1 Perlindungan Badan Kapal	II - 10
2.3.2 Metode Anoda Tumbal	II - 11
2.3.2.1 Mekanisme	II - 11
2.3.2.2 Perancangan Anoda	II - 11
2.3.2.3 Karakteristik anoda tumbal	II - 13
2.3.3 Metode Arus Terpasang	II - 16
2.3.3.1 Mekanisme	II - 16
2.3.3.2 Anoda yang dapat dipakai	II - 17

BAB III METODOLOGI Pengerjaan Tugas Akhir

3.1 Tahap Persiapan	III - 2
3.2 Perumusan Masalah	III - 2
3.3 Studi Pustaka	III - 2
3.4 Studi Pendahuluan dan Observasi Lapangan	III - 3
3.5 Pengumpulan Data	III - 3
3.6 Pengolahan Data	III - 3

BAB IV ANALISA TEKNIS

4.1 Metode Anoda Tumbal (SACP)	IV - 1
4.1.1 Luas permukaan basah badan kapal	IV - 1
4.1.2 Faktor coating breakdown	IV - 2
4.1.3 Kerapatan arus	IV - 3
4.1.4 Kebutuhan arus	IV - 4
4.1.5 Efek dari propeller	IV - 4
4.1.6 Berat anoda yang dibutuhkan	IV - 5
4.1.7 Luas Permukaan Anoda	IV - 5
4.1.8 Tahanan dari Anoda	IV - 6
4.1.9 Arus dari Anoda	IV - 6
4.1.10 Jumlah anoda yang dibutuhkan	IV - 6
4.1.11 Penentuan jumlah anoda	IV - 7
4.1.12 Berpedoman pada berat	IV - 7
4.1.13 Berpedoman pada kebutuhan arus	IV - 16
4.1.14 Metode Pemasangan	IV - 17
4.2 Metode Arus Terpasang	IV - 22
4.2.1 Kriteria Desain	IV - 22
4.2.2 Sistem ICCP	IV - 24
4.2.3 Komponen – komponen Sistem	IV - 25
4.2.3.1 Rectifier	IV - 25
4.2.3.2 Anoda Permanen	IV - 26
4.2.3.3 Lapisan Pelindung Arus	IV - 27

4.2.3.4 Elektroda Referensi	IV - 27
4.2.4 Metode Pemasangan	IV - 29

BAB V ANALISA EKONOMIS

5.1 Pendahuluan	V - 1
5.2 Analisa Biaya	V - 2
5.2.1 Biaya Metode Anoda Tumbal	V - 2
5.2.2 Analisa Biaya Metode Anoda Tumbal	V - 3
5.2.3 Biaya Metode Arus Terpasang	V - 9
5.2.4 Analisa Biaya Metode Arus Terpasang	V - 11
5.3 Perbandingan Biaya	V - 13

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan	VI - 1
6.2 Saran	VI - 3

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Grafik jumlah anoda vs th(untuk kapal Palu Sipat dengan anoda Zn)	IV – 10
Gambar 4.2 Grafik jumlah anoda vs tahun (untuk kapal DCV dengan anoda Zn)	IV – 11
Gambar 4.3 Grafik jumlah anoda vs tahun (untuk kapal OHBC dengan anoda Zn)	IV – 12
Gambar 4.4 Grafik jumlah anoda vs tahun (untuk kapal Palu Sipat dengan anoda Al)	IV – 13
Gambar 4.5 Grafik jumlah anoda vs tahun (untuk kapal DCV dengan anoda Al)	IV – 14
Gambar 4.6 Grafik jumlah anoda vs tahun (untuk kapal OHBC dengan anoda Al)	IV – 15
Gambar 4.7 Beberapa bentuk anoda tumbal	IV – 19
Gambar 4.8 Peletakan anoda tumbal pada bagian stern	IV – 20
Gambar 4.9 Proses korosi pada anoda tumbal	IV – 21
Gambar 4.10 Diagram blok sistem ICCP	IV – 24
Gambar 4.11 Diagram blok rectifier	IV – 25
Gambar 4.12 Rectifier	IV – 26
Gambar 4.13 Pemasangan elektoda referensi	IV – 28
Gambar 4.14 Komponen – komponen ICCP	IV – 28
Gambar 4.15 Penempatan ICCP pada kapal	IV – 30
Gambar 5.1 Grafik perbandingan biaya proteksi katodik	V – 13

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Beberapa jenis coating	IV – 2
Tabel 4.2 Konstanta k_1 dan k_2 untuk perhitungan faktor coating breakdown	IV – 3
Tabel 4.3 Kerapatan arus dalam A/m^2	IV – 4
Tabel 4.4 Perhitungan kebutuhan anoda Zn untuk kapal Palu Sipat	IV – 9
Tabel 4.5 Perhitungan kebutuhan anoda Zn untuk kapal DCV	IV – 11
Tabel 4.6 Perhitungan kebutuhan anoda Zn untuk kapal OHBC	IV – 12
Tabel 4.7 Perhitungan kebutuhan anoda Al untuk kapal Palu Sipat	IV – 13
Tabel 4.8 Perhitungan kebutuhan anoda Al untuk kapal DCV	IV – 14
Tabel 4.9 Perhitungan kebutuhan anoda Al untuk kapal OHBC	IV – 15
Tabel 4.10 Perhitungan kebutuhan arus untuk metode ICCP	IV – 23
Tabel 5.1 Future value pemakaian anoda Zn pada kapal Palu Sipat	V – 7
Tabel 5.2 Future value pemakaian anoda Al pada kapal Palu Sipat	V – 7
Tabel 5.3 Future value pemakaian anoda Zn pada kapal DCV	V – 8
Tabel 5.4 Future value pemakaian anoda Al pada kapal DCV	V – 8
Tabel 5.5 Future value pemakaian anoda Zn pada kapal OHBC	V – 8
Tabel 5.6 Future value pemakaian anoda Al pada kapal OHBC	V – 9
Tabel 5.7 Future value ICCP dalam 15 Tahun	V – 12
Tabel 5.8 Perbandingan Biaya Proteksi Katodik	V – 13
Tabel 6.1 Perbandingan SACP dan ICCP	VI – 1
Tabel 6.2 Aspek Teknis	VI – 2
Tabel 6.3 Investasi <i>cathodic protection</i>	VI – 2

Tabel 6.4 Rekomendasi pemilihan <i>cathodic protection</i>	VI – 3
--	--------



BAB I

PENDAHULUAN

DP II

1.1 Latar Belakang

Pembangunan suatu kapal haruslah memenuhi standar yang ditentukan, terutama yang berkaitan dengan aspek keamanan dan keselamatan. Merupakan suatu kenyataan yang kurang menguntungkan bahwa kapal laut yang kebanyakan terbuat dari baja harus beroperasi di laut yang merupakan media korosif, sehingga baja akan sangat rentan terhadap serangan korosi. Sehingga untuk menghambat laju korosi ini perlu dilakukan berbagai upaya. Diantaranya meliputi : pemberian lapisan pelindung (*coating*), anoda tumbal (*sacrificial anodes*), dan pemberian potensial perlindungan katodik (*impressed current*). Dewasa ini banyak kapal yang menggunakan anoda tumbal (*sacrificial anodes*) untuk pengendalian korosi badan kapal, padahal selain anoda tumbal masih ada metode yang lain yaitu metode arus terpasang (*impressed current*), tapi untuk metode ini jarang digunakan pada kapal yang dirancang di Indonesia. Oleh karena itu untuk mengetahui mana dari kedua metode tersebut yang memiliki sisi yang lebih menguntungkan dari segi teknis maupun ekonomis, maka dalam tugas akhir kali ini akan dibandingkan dari segi teknis dan ekonomis antara metode anoda tumbal (*sacrificial anodes*) dengan metode arus terpasang (*impressed current*) untuk pencegahan korosi pada badan kapal.



1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk meningkatkan performansi kapal terutama dalam hal pencegahan korosi badan kapal dengan cara :

- Melakukan analisa dan perbandingan antara metode *sacrificial anodes* dan *impressed current* dari sisi teknis.
- Melakukan analisa dan perbandingan antara metode *sacrificial anodes* dan *impressed current* dari sisi ekonomis.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah mendapatkan informasi sebagai pertimbangan dalam hal pemilihan metode untuk pengendalian korosi badan kapal yang paling ekonomis dan menguntungkan antara *sacrificial anodes cathodic protection* dengan *impressed current cathodic protection*.

1.4 Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan penelitian maka dalam tugas akhir ini perlu diberikan beberapa batasan masalah yang meliputi :

- Kapal yang digunakan adalah Palu Sipat, DCV dan OHBC.
- Dua anoda tumbal yang sudah diklaskan BKL.
- Satu jenis ICCP.
- Satu kategori coating.

1.5 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini meliputi langkah – langkah sebagai berikut :





- **Identifikasi masalah**

Untuk mengidentifikasi permasalahan, maka kita harus menentukan masalah apa saja yang timbul di dalam menentukan metode yang cocok antara *sacrificial anodes* dan *impressed current*.

- **Studi literatur**

Dalam hal ini untuk mencari studi literatur yang berkaitan dengan tugas akhir ini melalui buku – buku yang berkaitan dengan kedua metode tersebut, juga bisa melalui *searching* dari internet.

- **Pengumpulan data**

Dalam pengumpulan data diperlukan data primer maupun data sekunder sebagai penunjang di dalam mencapai tujuan penelitian. Sebagai contoh data-data tersebut meliputi : Data kapal Palu Sipat, DCV dan OHBC, teknik pemakaian ICCP, dan nilai ekonomis dari keduanya.

- **Analisa data**

Setelah mendapatkan data – data yang diinginkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisa data tersebut agar dapat membandingkan dari berbagai faktor yang ada, baik dari segi teknis maupun ekonomis untuk kedua metode tersebut.

- **Kesimpulan dan saran**

Dari hasil analisa dapat diambil keputusan penyebab perbedaan karakteristik kedua metode perlindungan tersebut sehingga dapat sebagai pertimbangan dalam pemilihan metode untuk menghambat korosi pada badan kapal.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan di dalam tugas akhir ini meliputi :



- **Bab I Pendahuluan**

Pada bab ini meliputi latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

- **Bab II Tinjauan Pustaka**

Dalam pembahasan di bab ini meliputi teori tentang korosi, dan metode yang digunakan dalam pengendalian korosi badan kapal.

- **Bab III Metode Pengerjaan Tugas Akhir**

Bab ini berisi mengenai bagaimana langkah – langkah yang ditempuh untuk menyelesaikan tugas akhir kali ini.

- **Bab IV Analisa Teknis**

Bab ini berisi perhitungan jumlah anoda yang digunakan untuk metode anoda tumbal serta perhitungan besar arus yang digunakan untuk metode arus terpasang.

- **Bab V Analisa Ekonomis**

Menganalisa secara ekonomis untuk mencari mana yang lebih menguntungkan diantara kedua metode tersebut.

- **Bab VI Kesimpulan dan Saran**

Di bab terakhir ini akan berisi kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan baik analisa teknis maupun analisa ekonomis dan memberikan saran agar tugas akhir ini bisa dikembangkan untuk melakukan penelitian lebih lanjut.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi

Korosi merupakan penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Chamberlain, 1991). Korosi berkaitan dengan logam, sedangkan logam adalah suatu material yang mempunyai jenis ikatan yang khusus yang membuat logam mempunyai sifat-sifat tersendiri dan berbeda dengan bahan-bahan lain bukan logam.

Selain adanya reaksi kimia, korosi juga melibatkan reaksi elektrokimia yaitu antara bahan-bahan yang bersangkutan terjadi adanya perpindahan elektron. Karena elektron memiliki muatan negatif, maka hal ini dapat menimbulkan arus listrik, sehingga reaksi yang bersangkutan akan dipengaruhi oleh potensial listrik.

Lingkungan adalah sebutan paling mudah untuk mewakili semua unsur sekitar logam terkorosi pada saat reaksi korosi berlangsung. Lingkungan yang dimaksudkan diantaranya adalah lingkungan yang berwujud gas (-10°C s.d. $+10^{\circ}\text{C}$), bahan yang terendam dalam air bebas, tanah dan mineral-mineral yang terlarut akan membentuk elektrolit yang bersifat menghantarkan arus listrik (Chamberlain, 1991).

Yang terjadi dalam korosi merupakan proses dari sel korosi sederhana. Dalam hal ini ada empat faktor yang mempengaruhi hal tersebut, diantaranya yaitu :



- a. Anoda, sebagai bagian yang terkorosi dan akan melepaskan elektron - elektron dari atom - atom logam netral membentuk ion - ion.
- b. Katoda, sebagai bagian yang biasanya tidak mengalami korosi walaupun mungkin menderita kerusakan-kerusakan.
- c. Elektrolit, merupakan larutan yang bersifat menghantarkan listrik.
- d. Hubungan listrik, dimana antara katoda dan anoda harus ada hubungan listrik agar arus didalam sel korosi dapat mengalir. Hubungan secara fisik tidak diperlukan jika anoda dan katoda merupakan bagian dari logam yang sama.

2.1.1 Teori Kimia Terjadinya Korosi

Dalam reaksi kimia korosi terjadi akibat adanya reaksi reduksi dan oksidasi (redoks) antara material dengan lingkungannya. Media utama adalah air (H_2O) yang merupakan molekul netral dan bersifat *reversible*, dimana kedua kedua jenis atom yang terkandung didalam molekul air sewaktu-waktu dapat berubah menjadi atom-atom semula. Atom uraian ini dapat menjadi sebab terjadinya korosi.



Sebagai contoh adalah reaksi baja di udara terbuka atau yang tercelup didalam air. Terjadinya korosi pada baja yang dicelupkan air dikarenakan atom-atom logam mengalami pelepasan elektron sehingga terbentuk ion logam.



Reaksi ini disebut reaksi anodik atau oksidasi. Sedangkan apabila baja tersebut berada pada udara terbuka yang mengandung uap air maka udara dengan air akan mengalami reaksi katodik yang disebut reaksi oksigen seperti dibawah ini:



Dalam larutan asam, reaksi reduksinya adalah evolusi hidrogen



Pada baja-baja yang tercelup dalam air laut, ion-ion Cl^- dan Na^+ tidak ikut bereaksi, sebagai hasil adalah penggabungan reaksi anodik dan katodik sebagai berikut:



Senyawa hasil reaksi diatas disebut senyawa karat atau garam ferro. Kondisi ini menurut reaksi kimia tidak akan stabil jika terus menerus berada di udara terbuka atau di air laut. Senyawa ini akan bereaksi lebih lanjut membentuk garam ferrit yaitu:



Dari reaksi diatas dapat ditarik kesimpulan jika baja mengalami korosi maka akan berlanjut hingga habis. (Chamberlain, 1991)

2.1.2 Teori Listrik Terjadinya Korosi

Semua material mempunyai muatan listrik statis yang besarnya bervariasi. Jika dua benda dengan muatan listrik yang berbeda dihubungkan secara listrik, kemudian dimasukkan kedalam larutan elektrolit dan dihubungkan dengan konduktor, maka akan timbul adanya aliran listrik dan aliran elektron.

Pada sel baterai kutub positif disebut anoda dan kutub negatif disebut katoda. Kebalikannya dalam sel korosi, kutub positif disebut katoda dan kutub negatif disebut anoda (Chamberlain, 1991).



2.1.3 Teori Elektrokimia Pada Proses Korosi

Reaksi elektrokimia adalah reaksi yang melibatkan arus elektron/arus listrik atau reaksi yang didalamnya terdapat reaksi redoks. Hampir seluruh proses korosi yang terjadi pada logam melibatkan perpindahan elektron.

Contoh reaksi elektrokimia adalah reaksi antara Zn dan HCl yang ditunjukkan pada reaksi lengkap berikut :



Zinc bereaksi dengan larutan asam membentuk zinc chloride serta membebaskan gelembung-gelembung gas hidrogen pada permukaan. Bentuk reaksi ioniknya adalah :



Setelah menghilangkan Cl^- dari kedua sisi reaksi diperoleh :



Bila diuraikan, reaksi diatas terdiri atas :



Pada reaksi anodik valensi Zn meningkat dari 0 menjadi +1 dengan melepaskan elektron, reaksi ini disebut juga oksidasi. Sedangkan pada reaksi katodik bilangan oksidasi hidrogen turun dari +1 menjadi 0 dengan mengkonsumsi elektron, reaksi ini disebut juga reaksi reduksi (Chamberlain, 1991).

2.2 Galvanic Corrosion

2.2.1 Definisi Galvanic Corrosion

Korosi logam yang tak sejenis atau disebut juga *korosi Galvanik* (*Bimetallic Corrosion*) atau disebut juga *dissimilar metal* adalah proses korosi



logam tak sejenis yang tergendeng (*coupled*) dan membentuk sebuah sel korosi basah sederhana dalam suatu media elektrolit. Sehingga dari proses tersebut, akan timbul adanya perbedaan potensial dari kedua logam itu (Chamberlain,1991).

Biasanya kita dapat mengenali daerah-daerah pada permukaan logam yang terkorosi, dan tempat reaksi-reaksi anoda dan katoda dimana masing-masing berlangsung, daerah-daerah itu disebut anoda dan katoda. Anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion-ion ini mungkin tetap tinggal dalam larutan atau beraksi membentuk hasil korosi yang tidak larut.

Sedangkan katoda biasanya tidak mengalami korosi, walaupun menderita kerusakan dalam kondisi-kondisi tertentu. Dua reaksi yang penting dan umum yang mungkin terjadi pada katoda, tergantung pada pH larutan yang bersangkutan, seperti contoh dibawah ini :



(Chamberlain,1991)

Perbedaan potensial antara dua logam yang berbeda dan berkontak (terhubung secara kontak listrik) ketika tercelup dalam elektrolit, akan menyebabkan elektron mengalir diantara kedua logam tersebut, sehingga terjadilah korosi. Bahan yang mempunyai ketahanan korosi yang rendah akan lebih rentan terkena korosi dari pada logam yang mempunyai ketahanan korosi yang lebih tinggi. Bahan dengan ketahanan korosi lebih rendah disebut anoda, sedangkan logam dengan kondisi sebaliknya disebut katoda (Chamberlain,1991).



2.2.2 Prinsip Korosi Galvanik

Prinsip korosi logam tidak sejenis atau sering disebut korosi galvanik merupakan dasar untuk memahami semua bentuk korosi yang lain. Untuk lebih menjelaskan tentang korosi galvanik tersebut, maka diberikan salah satu bentuk reaksi korosi yang dapat mewakili korosi galvanik, yaitu korosi logam yang dikopel dengan logam yang tanpa dikopel. Perbandingan mekanisme korosi yang didasarkan pada logam yang dikopel dengan korosi logam yang tanpa dikopel atau bebas.

Korosi yang terjadi pada logam tunggal, misalnya pada besi (Fe) yang mengalami korosi akibat perbedaan potensial lokal yang dimilikinya. Perbedaan potensial tersebut dapat berasal dari batasan dari butiran, *impurity*, fasa-fasa, dan bagian lainnya. Dengan demikian terbentuklah suatu anoda dan katoda lokal pada permukaan logam tersebut, dan selanjutnya terjadi aliran elektron dari anoda ke katoda diikuti oleh oksidasi dari anoda lokal. Pada suatu keadaan tertentu besi akan terkorosi sampai habis, dan ini terjadi bila besi dicelupkan dalam Natrium klorida pekat. Hal ini dimungkinkan karena tak ada bagian-bagian besi yang sama. Apabila suatu anoda lokal habis terkorosi, maka bagian sisa katoda lokal menjadi anoda dan katoda lokal baru, demikian proses ini berlangsung terus menerus sampai besi benar-benar habis.

Sedangkan korosi pada logam yang terkopel, contohnya besi (Fe) sebagai katoda yang terkopel, dengan seng (Zn) sebagai anoda, aliran elektron tidak hanya terjadi menuju katoda lokal, tetapi lebih besar lagi akan mengalir ke logam katoda. Hal ini disebabkan karena keduanya mempunyai perbedaan potensial yang besar akan mengalami reaksi diatas (korosi) apabila kedua logam tersebut diletakkan dalam suatu media elektrolit yang sama dan setempat.

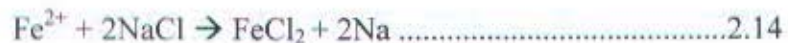


Akibat kenyataan diatas, besi dalam keadaan dikopel dengan seng (*galvanic coupling*) akan mengalami ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan besi yang tidak dikopel (Fontana, 1991).

2.2.3 Prinsip Korosi Dalam Medium Elektrolit

Proses elektrokimia dari suatu proses korosi, sebagai contoh adalah reaksi besi (Fe) yang dicelup dalam larutan Natrium Klorida (NaCl).

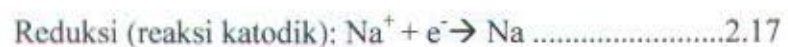
Medium elektrolit NaCl yang digambarkan dalam contoh ini tidak mengandung oksigen terlarut (*unareated*). Reaksi ini berlangsung cepat, gas hidrogen dilepas dan Fe terlarut membentuk FeCl_2 . Reaksi yang dimaksud adalah sebagai berikut :



Dengan memperhatikan bahwa ion Cl tidak ikut dalam reaksi, maka persamaan dapat disederhanakan menjadi :



Dari persamaan diatas, besi bereaksi dengan ion natrium dalam larutan asam membentuk ion Fe^{2+} dan atom natrium menjadi endapan natrium. Selain itu reaksi diatas dapat dibagi menjadi 2 reaksi yaitu reaksi oksidasi besi dan reaksi reduksi ion natrium.





Atom-atom Fe diubah menjadi ion besi dan satu elektron ini dikonsumsi oleh reduksi ion natrium. Persamaan yang telah disederhanakan diatas mengungkapkan bahwa reaksi adalah merupakan reaksi pembentukan natrium, yaitu reaksi membentuk ion natrium dari ion natrium yang bermuatan menjadi atom natrium yang netral. Pada tiap kasus korosi yang terjadi, hanya ion natrium yang aktif, sedang yang lain tidak terlibat dalam reaksi. Hal ini juga berlaku bagi asam-asam yang lain seperti hidrogen, fosfor dan lain-lainnya.

2.2.4 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Proses Korosi Galvanik

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses *galvanic corrosion*, dan faktor – faktor ini kadang- kadang hasilnya tidak sesuai yang diharapkan. Dan ini juga berpengaruh pada percobaan reaksi korosi galvanik. Demikian juga pada pasangan kopel seperti diatas, laju korosi logam yang terkopel juga dipengaruhi oleh faktor-faktor yang tersebut sebagai berikut:



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH – NOPEMBER

a. Efek Lingkungan Korosif

Lingkungan korosif yang sering juga disebut medium elektrolit, sangat mempengaruhi laju korosi pada suatu kasus. Pada medium tertentu, semakin naik laju korosinya dibandingkan dengan medium pengkorosi lainnya pada kepekatan (konsentrasi) yang sama. Pada umumnya bahan mempunyai ketahanan korosi lebih rendah akan menjadi anoda saat dikopel. Tetapi kadang-kadang potensial akan menjadi terbalik untuk suatu lingkungan tertentu. Jika besi ini dikopel dengan seng, maka seng akan terkorosi dan besi akan terlindungi. Hal ini menunjukkan bahwa besi lebih mulia dibandingkan seng. Tetapi untuk keadaan khusus seperti lingkungan air pada 180°C , keadaan diatas menjadi terbalik sehingga besi menjadi anoda. Hal ini disebabkan



karena produk korosi terjadi sering menutupi seng sehingga hal ini menjadikan permukaan seng menjadi lebih mulia dibandingkan dengan besi.

b. Perbedaan potensial yang dikopel

Besarnya beda potensial antara dua logam yang dikopel akan sangat mempengaruhi laju korosi galvanik yang terjadi. Semakin besar beda potensialnya, maka akan semakin besar laju korosinya dan sebaliknya.

c. Efek luasan

Besarnya luasan yang terlibat dalam suatu sistem korosi mempengaruhi besarnya kerapatan arus yang mengalir dalam sistem. Sedangkan harga kerapatan arus akan menentukan laju korosi logam tersebut dalam sistem serta potensial korosinya.

2.3 Pengendalian Korosi

Korosi sebagai penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Sehingga dalam banyak situasi, praktis korosi ini tidak dapat dicegah, kita hanya dapat berusaha untuk mengendalikannya sehingga struktur atau komponen mempunyai *life time* yang lebih panjang.

Pengendalian korosi bisa dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya adalah: (Chamberlain, 1991)

- a. Modifikasi rancangan.
- b. Modifikasi lingkungan.
- c. Pemberian lapisan pelindung.
- d. Pemilihan bahan.
- e. Proteksi katodik atau anodik.



Sedangkan untuk pengendalian korosi yang sering dilakukan dalam pada bangunan kapal, khususnya dibawah garis air, dengan cara:

- Pemberian lapisan pelindung (*coating*)
- Anoda tumbal (*sacrificial anodes*)
- Pemberian potensial perlindungan katodik atau arus terpasang (*impressed current*)

2.3.1 Perlindungan Badan Kapal

Salah satu perlindungan badan kapal adalah dengan cara proteksi katodik, yang mana cara ini dibedakan menjadi dua yaitu:

1. SACP (*Sacrificial Anodes Cathodic Protection*)
2. ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*)

Pada metode SACP (*Sacrificial Anodes Cathodic Protection*), proteksi katodik dilakukan dengan cara *galvanic coupling*, dimana logam yang akan diproteksi dikopel dengan logam yang lebih anodik. Anoda ini disebut anoda tumbal yang nantinya akan terkorosi lebih dahulu. Dalam hal ini logam yang ditumbalkan harus mempunyai potensial yang lebih rendah dari logam utama sehingga yang terkorosi adalah logam tambahan dan logam utama akan terhambat proses korosinya.

Pemilihan bahan untuk proteksi katodik didasarkan pada pertimbangan teknis dan ekonomis. Dari beberapa jenis anoda tumbal yang ada, magnesium mempunyai unjuk kerja yang lebih baik, karena efisiensinya sekitar 50%, harga potensialnya lebih negatif dan memberikan arus keluaran tinggi. Akan tetapi logam ini jarang digunakan karena logam magnesium sulit didapatkan dipasaran dalam bentuk lempengan dan harganya yang relatif mahal. Logam anoda tumbal



yang sering dipakai dalam praktek adalah aluminium dan seng karena mudah diperoleh dipasaran dan harganya relatif lebih murah.

Pada metode ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*) atau arus terpasang, perlindungan diberikan dengan jalan menggunakan sumber arus DC yang dialirkan dari luar sistem. Arus ini dialirkan ke logam yang diproteksi melalui anoda dan elektrolit, dimana anodanya boleh tidak terkorosi.

Prinsip dasar ICCP adalah pemberian potensial lebih negatif, sehingga kondisi logam akan berpindah ke zona kekebalan. Perbedaan antara zona korosi dengan zona kekebalan semata-mata hanya berpijak pada definisi. Jadi meskipun logam berada pada zona kekebalan, korosi masih berlangsung dengan laju yang lebih rendah. Semakin negatif potensial yang diberikan akan memperlambat reaksi anodik, sebaliknya reaksi katodik justru semakin cepat, akibatnya logam menjadi lebih katodik.

2.3.2 Metode Anoda Tumbal (SACP – *Sacrifice Anodes Cathodic Protection*)

2.3.2.1 Mekanisme

Cara yang paling sederhana untuk menjelaskan proteksi katodik dengan anoda tumbal adalah dengan menggunakan konsep sel korosi basah. Yaitu bahwa dalam sel, anodal adalah yang terkorosi sedangkan yang tidak terkorosi adalah katoda.

Dengan memanfaatkan pengetahuan tentang deret galvanik untuk memilih suatu bahan, maka lambung kapal yang terbuat dari baja akan dengan mudah dicari logam yang berlaku sebagai anoda. Dalam pemilihan logam yang digandengkan, dicari logam yang mempunyai potensial lebih aktif dari baja.

2.3.2.2 Perancangan anoda

Dalam merancang kebutuhan anoda tidak sederhana, karena banyak hal yang harus diperhitungkan. Sebagai contoh : luas relatif anoda dan katoda, laju



korosi seng, keluaran arus akibat korosi seng yang harus cukup untuk menghambat korosi terhadap besi.

Anoda tumbal antara lain diukur berdasarkan kapasitasnya, suatu besaran yang menyatakan banyaknya arus kali jam yang dapat dipasok oleh setiap kilogram bahan. Parameter lain adalah keluaran arus persatuan luas permukaan terbuka yang dinamakan pengausan (*wastage*). Yang menyatakan hilangnya logam dalam satuan volume maupun satuan massa.

Pelaku utama depolarisasi dalam air laut adalah oksigen. Banyaknya depolarisasi dan kecepatan kejadiannya dan juga kerapatan arus diperlukan bagi proteksi katodik, yang tergantung pada kadar kontak oksigen pada katoda. Gerakan relative baja pada air laut memperbesar tingkat kontak. Berbagai percobaan dengan memakai kecepatan yang berbeda, menunjukkan bahwa terdapat perubahan yang sangat besar pada kerapatan arus sebanding dengan perubahan kecepatan, bahkan sebuah kapal yang berlayar bisa memerlukan dua kali arus yang diperlukan dalam keadaan diam.

Kerapatan arus yang diperlukan untuk proteksi katodik tergantung pada besarnya luasan atau polarisasi permukaan logam dimana elektrolit (air laut) rendah resistivitasnya, coating pada badan kapal memperbesar tahanan dan arus proteksi katodik akan terpolarisasi pada bagian coating yang cacat.

Terdapat sejumlah ketentuan dari hubungan antara kecepatan dan arus yang diperlukan dari badan kapal. Namun terjadi kesulitan apabila diterapkan dalam praktek, dimana pada kapal yang bergerak distribusi arus berubah terhadap perubahan kecepatan. Jika anoda yang ditempatkan pada lambung kapal bertambah arusnya, akan terjadi overproteksi dan efisien distribusi menurun.



Pada kapal ada dua faktor penyebab hambatan yaitu hambatan bentuk dan hambatan permukaan, hambatan bentuk menjadi faktor yang berhubungan dengan kecepatan kapal, sementara hambatan permukaan berhubungan dengan hambatan pada bagian badan kapal yang tercelup. Pada tanker berukuran besar umumnya yang menjadi komponen utama yang menimbulkan hambatan gesekan bagi lambung adalah bila permukaan kasar akibat korosi.

Total arus yang diperlukan untuk melindungi sebuah kapal tidak hanya tergantung pada kecepatannya saja, tetapi juga kondisi cat. Disamping itu kapal juga berlayar pada kondisi perairan yang bervariasi. Sehingga perancangan proteksi katodik memerlukan pertimbangan teknis yang baik.

Faktor lain yang berpengaruh terhadap penggunaan anoda tumbal adalah efek *throwing power*, yaitu efek proteksi sehubungan dengan jarak anoda ke logam yang dilindungi. Jika jarak itu besar sebagian potensial digunakan untuk mengatasi hambatan elektrolit.

Pada penyusunan struktur anoda haruslah diusahakan agar distribusi potensial seragam diseluruh bagian, meskipun faktor seni terkadang lebih berperan daripada faktor teknik.

2.3.2.3 Karakteristik anoda tumbal

Anoda tumbal yang populer adalah magnesium, seng dan aluminium, ketiga anoda tersebut mempunyai karakteristik yang berbeda-beda dalam melindungi logam katoda. Berikut adalah karakteristik dari ketiga logam tersebut.

a. Magnesium

Magnesium mempunyai potensial korosi bebas yang sangat negatif, artinya bahwa logam itu larut agak cepat dalam air laut. Dengan



demikian penggunaannya akan efektif untuk melindungi jalur pipa yang dikubur dalam tanah, tanki penyimpanan air tawar atau payau. Magnesium sangat berbahaya jika berada didekat api, ini juga merupakan salah satu kelemahannya.

Spesifikasi paduan magnesium adalah :

Kapasitas : 1232 Ah/kg

Effesiensi : 60%

Consumption rate : 4,1 kg/A-tahun

Massa jenis : 1,765 gr/cm³

b. Seng

Secara komersial seng tersedia dan dapat dipakai karena menghasilkan suatu keuntungan bahkan dengan beberapa modifikasi sebagai material anoda. Sifat-sifat dan komposisi seng yang telah digabungkan dipakai dalam anoda tumbal.

Diantara bahan-bahan paduannya yang paling merusak efek anoda adalah besi . Kelarutannya dalam seng sedemikian rendah ($< 0,0014\%$) sehingga kalau berlebih kelebihan itu akan berupa partikel-partikel terpisah, yang pada gilirannya membentuk sel galvanik lokal yang menghasilkan suatu lapisan seng hidroksida/seng karbonat yang tidak dapat larut dan tidak dapat menghantarkan listrik, sehingga anoda tidak akan efektif. Penambahan alumunium, menguntungkan karena menyebabkan terbentuknya antar logam alumunium/besi yang lebih tidak mulia sehingga mengurangi efek sel-sel korosi lokal.

Seng dapat diaplikasikan didalam lingkungan kapal atau lingkungan bukan kapal. Seng dapat dipakai melindungi instalasi didalam air laut



diamana 99,99% seng murni akan memberikan keuntungan didalam proses instalasi. Seng dapat dipakai sebagai material anoda dengan tegangan pembangkit yang rendah.

Spesifikasi anoda seng adalah : (Kartini Utama)

Kapasitas : 782 Ah/kg

Effesiensi : 95%

Driving voltage : 0,25 V diukur dengan reverensi Ag /Ag Cl

Consumption rate : 11,20 kg/A-tahun

Massa jenis : 7,1 gr/cm³

c. Alumunium

Logam ketiga yang akan bertindak sebaai anoda tumbal terhadap baja adalah alumunium. Dalam keadaan normal alumunium murni sangat tidak andal digunakan untuk anoda tumbal, ini diakibatkan oleh lapisan oksida yang selalu membungkus logam itu ketika masih berada dalam udara bebas. Karena itu, unsur paduan yang ditambahkan adalah yang dapat mencegah terbentuknya selaput oksida yang merata, melekat erat dan protektif sehingga kegiatan galvanik terus berlangsung. Paduan alumunium yang mengandung seng dan indium mempunyai daya listrik yang jauh lebih besar dari pada paduan seng.

Spesifikasi anoda Alimunium adalah : (Kartini Utama)

Kapasitas : 2700 Ah/kg

Effesiensi : 90%

Driving voltage : 0,3 V diukur dengan reverensi Ag /Ag Cl

Consumption rate : 3,24 kg/A-tahun

Massa jenis : 2,7 gr/cm³



2.3.3 Metode Arus Terpasang (ICCP-*Impressed Current Cathodic Protection*)

2.3.3.1 Mekanisme

Perlindungan badan kapal dengan menggunakan proteksi katodik sistem *impressed current* adalah perlindungan dengan memberikan elektron pada badan kapal dengan bantuan sumber listrik dari luar. Elektron yang diberikan pada material berasal dari anode permanen yang terbuat dari logam.

Sumber arus pembantu untuk memberikan elektron ke badan kapal dapat berupa *battery*, *rectifier*, generator maupun sumber listrik lainnya. Hubungan sumber arus baik dengan anoda maupun dengan badan kapal harus merupakan hubungan yang tepat. Kutub positif sumber arus DC harus dihubungkan dengan arus anoda sedangkan kutub negatifnya harus dihubungkan dengan badan kapal. Hubungan yang terbalik menyebabkan elektron mengalir dengan arah yang terbalik pula, yaitu dari anoda ke badan kapal. Jadi jelasnya elektron bergerak ke arah badan kapal yang dilindungi terhadap pengaruh pengkaratan, karena itu permukaan badan kapal akan menjadi katode pada seluruh pengkaratan, dan dengan demikian potensial dari baja menjadi lebih negatif.

Dengan adanya bantuan sumber arus listrik maka besar kecilnya pemberian elektron pada badan kapal tergantung dari besarnya sumber arus tadi. Arus yang besar akan memberikan arus dalam jumlah yang besar pada badan kapal. Perlu diingat bahwa kelebihan arus pada permukaan badan kapal akan menyebabkan cat yang melekat pada badan kapal akan mengelupas. Maka dari itu pengoperasian pencegahan pengkaratan dengan sistem ICCP ini memerlukan operator yang ahli dan mengerti dengan masalah tersebut agar dapat melakukan pengontrolan arus sesuai yang dibutuhkan.



Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengendalian korosi dengan metode ini adalah : (John Wiley, 1991)

1. Arus yang mengalir harus mencukupi untuk menyelimuti reaksi anodik, atau beberapa diantaranya harus mampu untuk mengurangi laju korosi.
2. Arus yang ada harus mampu untuk meminimalisasikan proses acid di sekitar anoda.
3. Baja tidak boleh melebihi potensial evolusi hidrogen, khususnya untuk prestressed steel, untuk mengurangi penambahan hidrogen.

2.3.3.2 Anoda yang dapat dipakai

Anoda yang biasa digunakan dalam sistem ICCP, harus mempunyai elektroda potensial yang tinggi agar dapat melindungi area yang luas dengan pelat yang kecil.. Anoda ini ditempatkan dibagian kanan dan dibagian kiri lambung kapal.

a. Grafit

Anoda permanen yagn pertama kali dibuat adalah grafit dan karbon. Material tersebut tidak memiliki sifat-sifat mekanik dan elektrokomia yang ideal. Grafit merupakan material yang cepat rapuh dan keropos. Anoda grafit memiliki macam-macam tipe dan juga memiliki kualitas yang berbeda-beda. Sebagai contohnya adalah grafit dengan tingkat kemurnian yang cukup tinggi akan memiliki performansi yang tinggi pula.



Ditinjau dari segi ekonomi grafit relatif lebih murah jika dibandingkan biaya pervolume. Disamping itu pula grafit memiliki konduktivitas yang tinggi.

b. Besi Silikon Tinggi

Secara ekonomis anoda besi silikon tinggi sama halnya dengan anoda grafit serta memiliki tingkat kesulitan pada faktor-faktor tertentu yang juga dimiliki oleh jenis anoda lain. Kelebihannya efisiensi didalam air tawar dan cepat beradaptasi dengan elektrolit yang dipakai.

c. Anoda Magnetite

Anoda magnetite memiliki rumus kimia Fe_3O_4 dan merupakan golongan oksida yang dipakai didalam rancangan bentuk anoda. Dalam hal ini anoda magnetite memiliki sifat yang sama dengan jenis anoda yang lain dan secara umum dapat ditunjukkan sebagai magnetite. Anoda semacam ini dinamakan ebonite yang berasal dari keramik titanium dioksida yang diperkirakan memiliki karakteristik elektrolit yang sama.

d. Platinum dan Campuran Platinum

Platinum telah dipakai sebagai anoda didalam suatu elektrokimia serta dipakai sebagai anoda didalam proses proteksi katoda. Logam ini dapat berfungsi dengan menggunakan teknik-teknik tertentu. sebagai fungsinya anoda ini memiliki kelebihan dimana bila anoda ini berada di air laut memiliki efisiensi 10 % jika ditambahkan dengan rodium atau palladium.

e. Titanium yang dilapisi oleh platina

Jika sebuah lapisan tipis dilapisi oleh sebuah substrat titanium maka platinum dapat berfungsi sebagai anoda dan titanium tersebut dalam



proses ini akan membentuk *insulation film* melalui proses anoda. Dalam hal ini platinum memberikan suatu kelembaban dengan suatu perantara dasar agar dipakai sebagai anoda. Berhubung pemakaian platinum ketika bertindak sebagai anoda didalam elektrolit maka platinum dengan *insulation film* akan membutuhkan proses yang sangat panjang.

Dalam prakteknya, sepersepuluh dari 1000 in cukup untuk memberikan waktu proses selama 10 tahun, dengan kerapatan arus sebesar 70 A/sq ft.



BAB III

METODOLOGI Pengerjaan Tugas Akhir

Suatu material akan mengalami pengkaratan bila material tersebut sebagai anoda dalam sel galvanik. Sedang material yang bertindak sebagai katoda tidak akan mengalami pengkaratan. Oleh karena itu pencegahan pengkaratan dapat dilakukan dengan cara membuat logam yang akan dilindungi tersebut sebagai katoda. Dengan demikian pencegahan pengkaratan pada badan kapal dapat dilakukan dengan jalan membuat badan kapal bertindak sebagai katoda. Cara pencegahan pengkaratan diatas adalah pencegahan pengkaratan dengan menggunakan perlindungan katodik atau *cathodic protection*.

Umumnya proses korosi dimulai dengan terbentuknya ion-ion positif (anoda) dari atom bahan yang bersangkutan, yang kemudian dengan pelepasan beberapa muatan elektronnya. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan potensial antara satu bagian dengan bagian yang lain dari bahan tersebut. Namun demikian proses pelepasan atau pengaliran muatan tersebut tidak akan berlangsung apabila tidak tersedia media pengantar muatan. Elektron akan mengalir dari butiran negatif ke positif, pada proses tersebut akan terbentuk atom-atom yang kehilangan elektron yang disebut ion positif. Butir-butir yang bermuatan listrik positif dikenal sebagai penampung elektron yang disebut *cathodic*, sebaliknya butir yang bermuatan negatif dikenal sebagai sumber elektron disebut *anodic*.

Perlindungan katodik memerlukan jumlah arus yang sesuai untuk dapat berfungsi dengan baik. Kebutuhan arus ini tidak bisa diramalkan begitu saja, karena untuk tiap-tiap keadaan permukaan yang berbeda akan mempunyai harga yang berlainan.



3.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan terdiri dari tahap perumusan masalah, tahap penentuan prosedur serta tahap penentuan data yang akan diperlukan untuk dapat menunjang pemecahan masalah yang telah ditentukan.

Pada tahap ini juga ditetapkan suatu prosedur kerja yang akan dilakukan untuk memudahkan dalam pemecahan masalah serta tujuan yang akan diperoleh. Prosedur tersebut merupakan rangkaian dari tahapan yang akan dilakukan untuk beserta penjelasannya.

3.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi objek penelitian ini adalah untuk membandingkan antara metode *sacrifice anodes cathodic protection* atau anoda tumbal dengan metode *impressed current cathodic protection* atau arus terpasang, baik itu secara analisa teknis maupun ekonomis.

Dan perumusan permasalahan tersebut maka ditetapkan bahwa tujuan perbandingan ini adalah menentukan metode yang tepat dan efisien untuk pengendalian korosi pada suatu kapal.

3.3 Studi Pustaka

Dalam studi pustaka ini literature didapat dari buku – buku yang relevan dengan permasalahan tugas akhir ini. Tidak ketinggalan juga hal – hal yang menunjang tugas akhir ini didapat dari *browsing* dari internet mengenai anoda tumbal maupun arus terpasang.



3.4 Studi Pendahuluan dan Observasi Lapangan

Studi pendahuluan dan observasi lapangan bertujuan untuk menggali informasi mengenai objek yang diteliti. Dan sini akan diperoleh pemahaman detail, mengenai kondisi sesungguhnya di lapangan agar dapat dilakukan analisa sesuai tujuan yang diinginkan.

3.5 Pengumpulan Data

Pada langkah ini langkah langkah yang dilakukan ialah pengumpulan data - data yang diperlukan untuk keperluan simulasi dan model yang akan dibuat.

Data - data yang perlu dikumpulkan pada penelitian ini meliputi :

- Data kapalPalu Sipat
- Data kapalDCV
- Data kapal OHBC
- Teknik pemakaian ICCP.

3.6 Pengolahan Data

Untuk pengolahan data ini maka diperlukan masukan - masukan yang berupa data kapal tersebut, sehingga nantinya akan dapat diketahui seberapa besar luas yang harus diproteksi untuk mengendalikan korosi. Selain itu data tentang karakteristik dari anoda juga diperlukan untuk mengetahui seberapa banyak anoda yang dibutuhkan untuk masing - masing kapal, baik itu yang berpedoman arus maupun berpedoman berat.

Juga dari data yang diperoleh tentang kedua metode tersebut, maka nantinya akan diketahui bagaimana metode pemasangan serta alat – alat yang mendukung untuk masing – masing metode pengendalian korosi tersebut.



Dari beberapa data kapal yang telah diperoleh, maka nantinya akan dianalisa secara teknis maupun ekonomis untuk mendapatkan metode manakah yang paling sesuai untuk masing – masing kapal. Dalam analisa teknis tersebut, akan didasarkan pada DNV (Det Norske Veritas). Analisa teknis berdasarkan DNV karena metode ini yang paling banyak digunakan oleh berbagai perancang kapal dalam mengendalikan korosi di kapal.

Untuk lebih jelas tentang analisa teknis dan ekonomis dalam tugas akhir ini, sebagai berikut :

- a. Perhitungan luasan permukaan basah untuk masing – masing kapal.

Hasil yang didapat nantinya digunakan sebagai pedoman untuk mengetahui seberapa banyak anoda yang dibutuhkan untuk perlindungan katodik.

Perhitungan ini didekati dengan rumus (DNV, 1993):

$$WSA = (1,8 \times Lpp \times T) + (Cb \times Lpp \times B)$$

Dimana :

WSA : luas permukaan basah (m^2).

Lpp : panjang kapal antara AP sampai FP (m).

T : sarat kapal pada muatan penuh (m).

Cb : koefisien blok.

B : lebar kapal (m).

- b. Perhitungan jumlah arus yang dibutuhkan untuk masing – masing kapal

Arus listrik yang dihasilkan tiap – tiap kapal didapat dari muatan listrik yang berbeda yang dihubungkan secara elektris.





Perhitungan ini nantinya digunakan untuk mengetahui berapa banyak jumlah anoda yang dibutuhkan untuk masing – masing kapal, formula rumusnya sebagai berikut : (DNV,1993)

$$I_c = \frac{A \times C D \times f_c}{1000} \quad (A)$$

dimana A = luas struktur yang diproteksi (m^2)

CD = Rapat arus mA/m^2)

f_c = faktor coating breakdown

- c. Perhitungan kebutuhan anoda tumbal (baik berpedoman pada arus maupun berpedoman pada berat)

Untuk masing – masing yang berdasarkan arus maupun berat, nantinya akan dipilih manakah yang lebih efektif dari metode pemakaian anoda tumbal dalam perlindungan katodik.

- Berpedoman pada arus :

Jumlah anoda = (kebutuhan arus pd awal) / (arus dari anoda)

- Berpedoman pada berat :

$$\text{Jumlah anoda} = \frac{W}{W_{\text{anoda}}}$$

dimana W = Berat anoda yang dibutuhkan (kg)

W_{anoda} = Berat bersih tiap anoda (kg)

- d. Untuk perlindungan dengan metode ICCP, lebih dititikberatkan pada pemasangan atau peletakan berbagai komponen yang mendukung metode ini. Untuk perhitungan dari metode ini, hanya berdasar pada laju korosinya saja.
- e. Perhitungan biaya sistem anoda tumbal
- f. Perhitungan biaya sistem ICCP



g. Perhitungan analisa ekonomis berdasar metode Pembayaran tunggal

Metode Pembayaran Tunggal merupakan salah satu cara untuk memahami perubahan nilai suatu mata uang terhadap berjalannya waktu. Dimana konsep yang digunakan ialah dengan mencari nilai F (future) dari nilai awal sebesar P (present) setelah dibungakan secara majemuk selama N (tahun) periode dengan tingkat i % (bunga) per periode :

$$F = P (1+i)^n$$

Dimana:

F : jumlah uang pada akhir n periode dari saat sekarang yang ekuivalen dengan P yang memiliki bunga i

P : merupakan jumlah uang sekarang

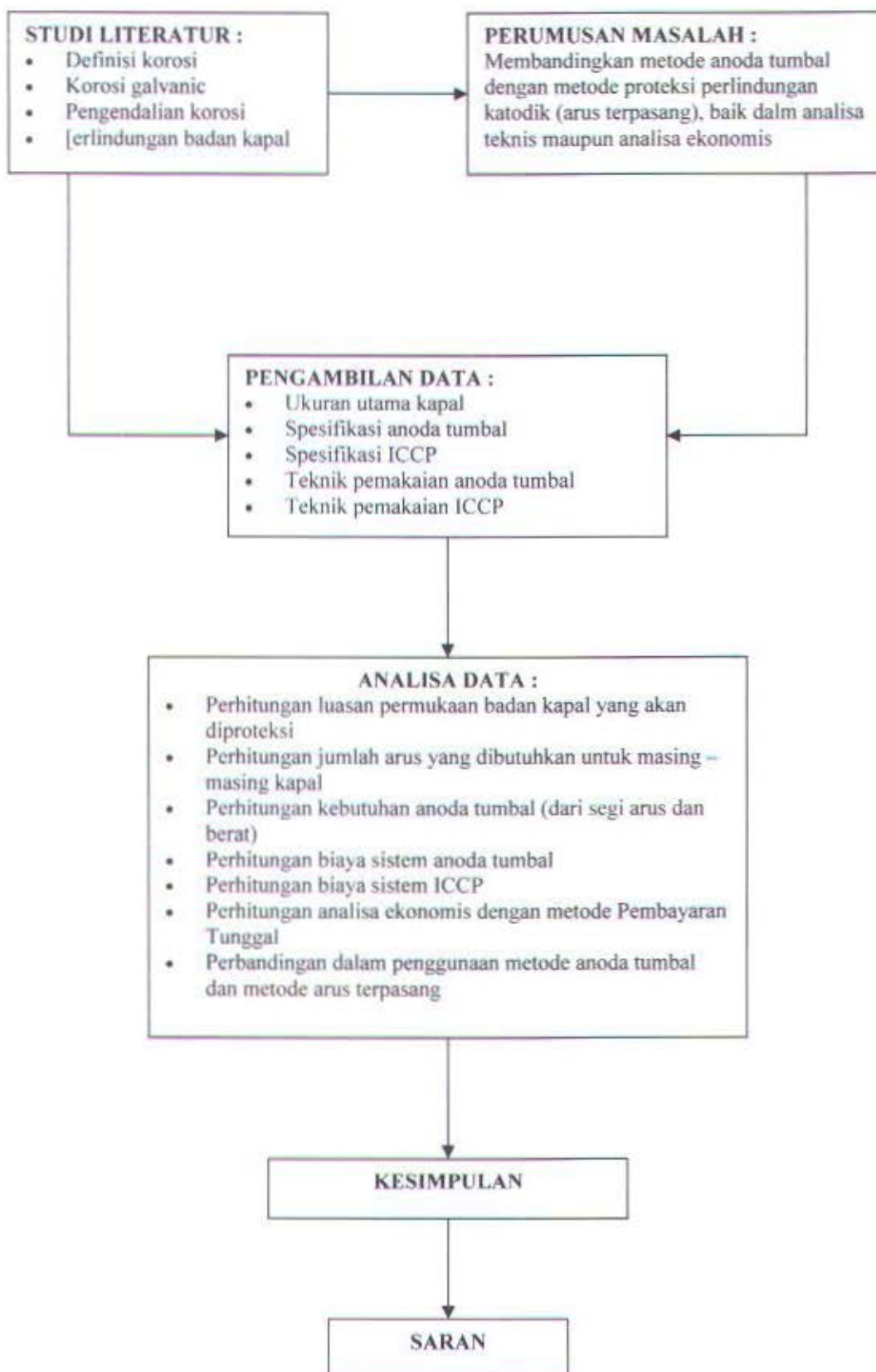
i : tingkat suku bunga per periode bunga

n : jumlah periode bunga

h. Perbandingan baik dari teknis maupun ekonomis dalam penggunaan metode anoda tumbal dan metode potensial perlindungan katodik.



Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada flowchart pengerjaan tugas akhir dibawah ini :





BAB IV

ANALISA TEKNIS

4.1 Metode Anoda Tumbal (SACP)

Seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya, bahwa dalam metode ini untuk menentukan jumlah anoda akan berpedoman dari segi arus maupun dari segi berat. Dalam prakteknya, kedua cara ini di hitung semua dan diambil yang terbesar. Hal ini dilakukan untuk mencari angka yang paling aman.

Untuk menentukan jumlah anoda, ada beberapa faktor yang harus diperhatikan, antara lain :

- Luas permukaan basah badan kapal
- Factor coating breakdown
- Kerapatan arus
- Besarnya arus
- Efek dari propeller
- Berat dari anoda
- Luas permukaan anoda
- Tahanan anoda

4.1.1 Luas permukaan basah badan kapal .

Karena bentuk badan kapal yang kompleks tidak sebagaimana perhitungan pada luasan permukaan yang sederhana, maka formula yang digunakan adalah sebagai berikut.

WSA pada sarat penuh:

$$WSA = (1,8 \times Lpp \times T) + (Cb \times Lpp \times B) \dots\dots\dots 4.1$$

Dimana :



- WSA : luas permukaan basah (m^2).
- Lpp : panjang kapal antara AP sampai FP (m).
- T : sarat kapal pada muatan penuh (m).
- Cb : koefisien blok.
- B : lebar kapal (m).

Luas daun kemudi

$$A = \frac{T \times L_{pp}}{100} \left(1 + 25 \left(\frac{B}{L_{pp}} \right)^2 \right) \quad (m^2) \dots\dots\dots 4.2$$

T : sarat kapal pada muatan penuh (m).

Lpp : panjang kapal (m)

B : lebar kapal (m).

4.1.2 Faktor *coating breakdown*

Faktor *coating breakdown* menggambarkan suatu reduksi di dalam kerapatan arus katodik karena adanya aplikasi dari suatu *coating insulasi* secara elektrik.

Empat kategori *paint coating* telah didefinisikan untuk melengkapi hubungan antara faktor *coating breakdown* terhadap sifat-sifat *coating* itu sendiri.

(DNV,1993)

	SIFAT COATING
Kategori I	1 layer coating primer, kira - kira 50mm DFT (Dry Film Thickness/ketebalan film basah)
Kategori II	1 layer coating primer, ditambah 1 layer minimum coating intermediate kira - kira 150 - 250 mm DFT
Kategori III	1 layer coating primer, ditambah 1 layer minimum coating intermediate min. 300 mm DFT
Kategori IV	2 layer coating primer, ditambah 1 layer minimum coating intermediate min. 450 mm DFT

Tabel 4.1 Beberapa jenis coating



Depth (m)	Coating Category			
	I	II	III	IV
	($k_1 = 0,10$)	($k_1 = 0,05$)	($k_1 = 0,02$)	($k_1 = 0,02$)
	k_2	k_2	k_2	k_2
0 – 30	0,10	0,03	0,15	0,12
> 30	0,05	0,02	0,12	0,12

Tabel 4.2. Konstanta k_1 dan k_2 untuk perhitungan faktor coating breakdown

$$f_c = k_1 + k_2 \times t \dots\dots\dots 4.3$$

dimana

t = tahun

4.1.3 Kerapatan arus

Kerapatan arus menunjukkan arus proteksi katodik tiap luasan area. Kerapatan arus baik yang diawal maupun yang diakhir memberikan suatu pengukuran terhadap kerapatan arus katodik guna mencapai proteksi katodik dari permukaan logam dalam waktu yang relatif singkat. Hal itu dapat dipakai untuk menghitung besarnya arus yang nantinya akan menentukan jumlah dan ukuran dari anoda. (DNV,1993)

Perancangan kerapatan arus menunjukkan kerapatan arus katodik yang dibutuhkan untuk mempengaruhi polarisasi pada sebuah permukaan logam. Perancangan kerapatan arus memungkinkan adanya formasi skala protektif dan polarisasi yang efisien.

Perancangan densitas arus mengarah pada densitas arus katodik pada potensial sebesar -0,8 V. Rata-rata perancangan densitas suatu arus merupakan suatu pengukuran dari densitas arus katodik. (DNV,1993)



Dalam tabel 4.3 kerapatan arus didasarkan pada range rata-rata temperatur air permukaan dalam waktu 1 tahun. (DNV,1993)

Depth	Design Current Densities (Initial, Average, Final) in A/m ²											
	Tropical (>20°C)			Sub-Tropical (12-20°C)			Temperate (7-12°C)			Arctic (<7°C)		
0-30	0,15	0,07	0,09	0,17	0,08	0,11	0,20	0,10	0,13	0,25	0,12	0,17
>30	0,13	0,06	0,08	0,15	0,07	0,09	0,18	0,08	0,11	0,22	0,10	0,13

Tabel 4.3 Kerapatan Arus dalam A/m²

4.1.4 Kebutuhan arus

Arus yang dibutuhkan untuk perlindungan katodik didefinisikan dalam :
(DNV,1993)

$$I_c = \frac{A \times C D \times f_c}{1000} \quad (\text{A}) \dots\dots\dots 4.4$$

dimana : A = luas struktur yang diproteksi (m²)

CD = Rapat arus mA/m²)

f_c = faktor coating breakdown

4.1.5 Efek dari propeler

Putaran propeler menimbulkan turbulensi pada bagian buritan, sehingga oksigen yang ada pada daerah tersebut sangat besar. Oksigen menimbulkan bagian ini teraerasi sehingga laju arus korosi akan bertambah semakin besar. Oleh karena itu perlu dihitung juga efek yang ditimbulkan oleh adanya propeler. Efek dari propeler dirumuskan sebagai berikut :

$$PE = \frac{d^2 \times 3,14 \times \text{Bladex} 0,3}{\text{Blade}} \dots\dots\dots 4.5$$



dimana

PE = Efek propeler (A)

D = Diameter propeler (m)

Blade = Jumlah blade

4.1.6 Berat anoda yang dibutuhkan

Setelah mendapatkan hasil dari faktor - faktor diatas, maka kapasitas anoda (CA) sangat menentukan berat anoda, dimana rumus penentuan berat adalah : (DNV,1993)

$$W = \frac{8760 \cdot i \cdot t}{CA \cdot u} \dots\dots\dots 4.6$$

dimana

W = berat anoda yang dibutuhkan (kg)

i = kebutuhan arus maksimum (A)

t = waktu yang dibutuhkan (tahun)

CA = kapasitas anoda (Ah/Kg)

u = faktor utilisasi

4.1.7 Luas permukaan anoda

Anoda mempunyai dimensi yang berbeda-beda dan ini sangat berpengaruh terhadap luas anoda tersebut. Luas permukaan anoda sangat berpengaruh terhadap tahanan anoda tersebut, semakin luas anoda akan semakin kecil tahanannya. Luas anoda didefinisikan dengan :

$$A = \frac{(L \times W) + (2 \times L \times H) + (2 \times W \times H)}{100} \dots\dots\dots 4.7$$

dimana : A = Luas permukaan anoda (cm²)

L = Length (panjang) (cm)

W = Wide (lebar)(cm)



H = High (tinggi) (cm)

4.1.8 Tahanan dari anoda

Dalam operasinya anoda juga mempunyai tahanan, tahanan ini akan menghambat keluarnya arus dari anoda tersebut, semakin besar tahanannya akan semakin kecil arus yang keluar. Rumus tahanan anoda adalah : (DNV,1993)

$$R = (0,315 \times \rho) \sqrt{A} \dots\dots\dots 4.8$$

dimana : R = tahanan anoda (ohm)

ρ = seawater resistivity (ohm-cm)

A = luas permukaan anoda (cm²)

4.1.9 Arus dari anoda

Tiap jenis anoda mempunyai *driving potential*, yang berbeda-beda semakin tinggi driving potensial akan semakin besar arus yang dikeluarkan oleh anoda dalam melindungi struktur. Arus yang dikeluarkan anoda dirumuskan dengan :

$$i = \frac{V}{R} \dots\dots\dots 4.9$$

dimana: i = arus dari anoda (A)

V = driving Potential (V)

R = tahanan anoda (ohm)

4.1.10 Jumlah anoda yang dibutuhkan

Ada dua macam cara penentuan jumlah anoda yang dibutuhkan untuk melindungi struktur, penentuan ini berkaitan dengan cara penghitungan dalam menentukan jumlah anoda, yaitu dengan berpatokan pada berat (*by weight*) atau berpatokan pada kebutuhan arus (*by current*)



- ♦ Berpatokan pada berat

$$\text{Jumlah anoda} = \frac{W}{W_{\text{anoda}}} \dots\dots\dots 4.10$$

dimana W = Berat anoda yang dibutuhkan (kg)

W_{anoda} = Berat bersih tiap anoda (kg)

- ♦ Berpatokan pada kebutuhan arus

Jumlah anoda = (kebutuhan arus pd awal) / (arus dari anoda)

4.1.11 Penentuan jumlah Anoda

Seperti telah dikatakan diatas, penentuan jumlah anoda dapat dilakukan dengan dua macam cara . Dalam tugas akhir ini akan dihitung dua macam anoda tumbal yaitu *zinc anode* dan *alluminium anode* dan tiga kapal sebagai pembanding metode anoda tumbal dan metode arus terpasang yaitu:

- ♦ Palu Sipat (6500 DWT)
- ♦ DCV (18500 DWT)
- ♦ OHBC (45000DWT)

4.1.12 Berpedoman pada berat

Berikut ini adalah contoh penentuan jumlah anoda dengan berpedoman pada berat.

Nama Kapal : Palu Sipat

■ Ukuran utama kapal

Loa (Length over all) : 105 m

Lwl (Length water line) : 101,94 m

Lpp (Length perpendicular) : 99 m

B (Breadth) : 18,8 m

H (High) : 8,5 m



D (Draft) : 6 m

Cb : 0,75

Luas yang diproteksi

$$WSA = (1,8 \times Lpp \times T) + (Cb \times Lpp \times B)$$

$$= (1,8 \times 99 \times 6) + (0,75 \times 99 \times 18,8)$$

$$= 2465,1 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{kemudi}} = \frac{TxLpp}{100} \left(1 + 25 \left(\frac{B}{Lpp} \right)^2 \right) \quad (\text{m}^2)$$

$$= \frac{6 \times 99}{100} \left(1 + 25 \frac{18,8^2}{99} \right) \quad (\text{m}^2)$$

$$= 11,2952 \text{ m}^2$$

Luas yang harus diproteksi adalah $= WSA + A_{\text{kemudi}}$

$$= 2465,1 + 11,2952$$

$$= 2476,3952 \text{ m}^2$$

Tipe Anoda

Tipe Anoda = Zn-8

Berat kotor = 8 kg

Berat bersih = 7,5 kg

Dimensi = 300 x 150 x 25





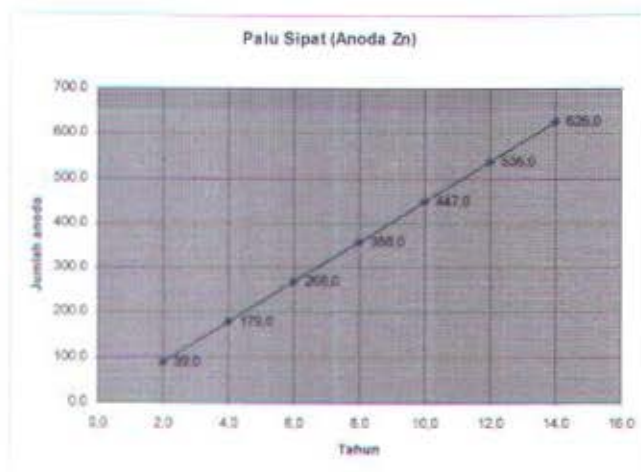
Untuk lebih jelasnya, pemakaian anoda untuk masing – masing kapal dapat dilihat berikut ini :

a. Kebutuhan anoda pada kapal Palu Sipat dengan menggunakan anoda Zn

Data Kapal	Palu Sipat	
Loa	105	m
Lwl	101	m
Lpp	99,0000	m
B	18,800	m
H	8,500	m
Draft	6,000	m
Cb	0,750	
Dim. Propeller	3,700	m
Luas yang diproteksi		
WSA	2465,1	m ²
Kemudi	11,295	m ²
	2476,3952	m ²
Efek dari propeller	12,89598	A
Kapasitas anoda	782	Ah/Kg
Faktor utilitasi (u)	0,8	
Type Anoda (Zn)	Zn-8	
Berat bersih	7,5	Kg
Dimensi	p	l t
	300	150 25
	0,3	0,15 0,025

Luas proteksi m ²	Coating Category II				Kerapatan Arus (CD)	Kebutuhan Arus (Ic)	Berat Anoda	Jumlah anoda Zn
	Fc	k1	k2	Th	A /m ²	Ampere	Kg	Unit
2476,4	0,1	0,05	0,03	2,0	0,09	37,41	670,6	89,0
	0,11	0,05	0,03	4,0	0,09	37,41	1341,1	179,0
	0,11	0,05	0,03	6,0	0,09	37,41	2011,7	268,0
	0,11	0,05	0,03	8,0	0,09	37,41	2682,2	358,0
	0,11	0,05	0,03	10,0	0,09	37,41	3352,8	447,0
	0,11	0,05	0,03	12,0	0,09	37,41	4023,3	536,0
	0,11	0,05	0,03	14,0	0,09	37,41	4693,3	626,0

Tabel 4.4 Perhitungan kebutuhan anoda Zn untuk kapal Palu Sipat



Gambar 4.1 Grafik jumlah anoda vs tahun (untuk kapal Palu Sipat dengan anoda Zn)

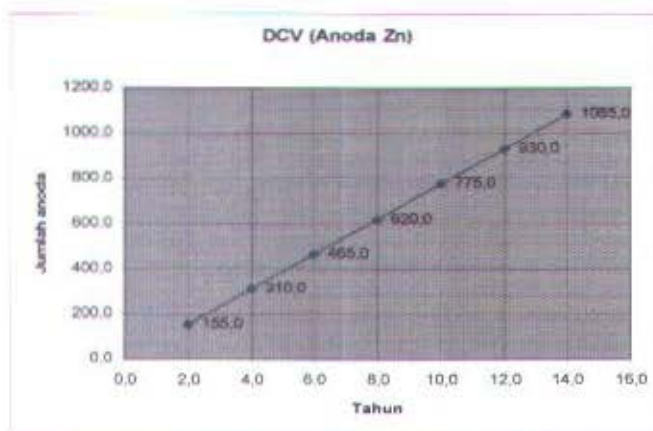


b. Kebutuhan anoda pada kapal DCV dengan menggunakan anoda Zn

Data Kapal	DCV	
Loa	141	m
Lwl	136,986	m
Lpp	134,0000	m
B	22,500	m
H	12,850	m
Draft	8,250	m
Cb	0,780	
Dim. Propeller	4,800	m
Luas yang diproteksi		
WSA	4341,6	m ²
Kemudi	18,847094	m ²
	4360,45	m ²
Efek dari propeller	21,70368	A
Kapasitas anoda	782	Ah/Kg
Faktor utilitasi (u)	0,8	
Type Anoda [Zn]	Zn-8	
Berat bersih	7,5	Kg
Dimensi	p	l t
	300	150 25
	0,3	0,15 0,025

Luas proteksi m ²	Coating Category II				Kerapatan Arus (CD) A /m ²	Kebutuhan Arus (Ic) Ampere	Berat Anoda Kg	Jumlah anoda Zn Unit
	Fc	k1	k2	Th				
4360,45	0,1	0,05	0,03	2,0	0,09	64,87	1162,7	155
	0,11	0,05	0,03	4,0	0,09	64,87	2325,4	310
	0,11	0,05	0,03	6,0	0,09	64,87	3488,2	465
	0,11	0,05	0,03	8,0	0,09	64,87	4650,9	620
	0,11	0,05	0,03	10,0	0,09	64,87	5813,6	775
	0,11	0,05	0,03	12,0	0,09	64,87	6976,3	930
	0,11	0,05	0,03	14,0	0,09	64,87	8139,0	1085

Tabel 4.5 Perhitungan kebutuhan anoda Zn untuk kapal DCV



Gambar 4.2 Grafik jumlah anoda vs tahun (untuk kapal DCV dengan anoda Zn)

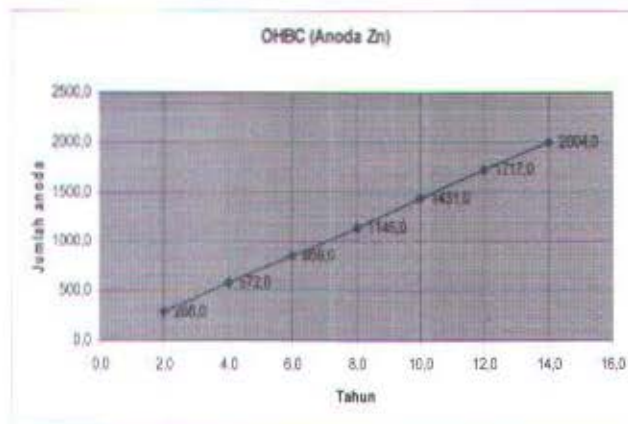


c. Kebutuhan anoda pada kapal OHBC dengan menggunakan anoda Zn

Data Kapal	OHBC	
Loa	189	m
Lwl	185,64	m
Lpp	182,0000	m
B	30,500	m
H	16,900	m
Draft	11,000	m
Cb	0,800	
Dim. Propeller	6,500	m
Luas yang diproteksi		
WSA	8044,4	m ²
Kemudi	34,075975	m ²
	8078,48	m ²
Efek dari propeller	39,7995	A
Kapasitas anoda	782	Ah/Kg
Faktor utilitas (u)	0,8	
Type Anoda (Zn)	Zn-8	
Berat bersih	7,5	Kg
Dimensi	p	l
	300	150
	0,3	0,15
		25
		0,025

Luas proteksi m ²	Coating Category II				Kerapatan Arus (CD)	Kebutuhan Arus (Ic)	Berat Anoda	Jumlah anoda Zn
	Fc	k1	k2	Th	A /m ²	Ampere	Kg	Unit
8078,48	0,1	0,05	0,03	2,0	0,09	119,78	2146,8	286
	0,11	0,05	0,03	4,0	0,09	119,78	4293,6	572
	0,11	0,05	0,03	6,0	0,09	119,78	6440,4	859
	0,11	0,05	0,03	8,0	0,09	119,78	8587,1	1145
	0,11	0,05	0,03	10,0	0,09	119,78	10733,9	1431
	0,11	0,05	0,03	12,0	0,09	119,78	12880,7	1717
	0,11	0,05	0,03	14,0	0,09	119,78	15027,5	2004

Tabel 4.6 Perhitungan kebutuhan anoda Zn untuk kapal OHBC



Gambar 4.3 Grafik jumlah anoda vs tahun (untuk kapal OHBC dengan anoda Zn)

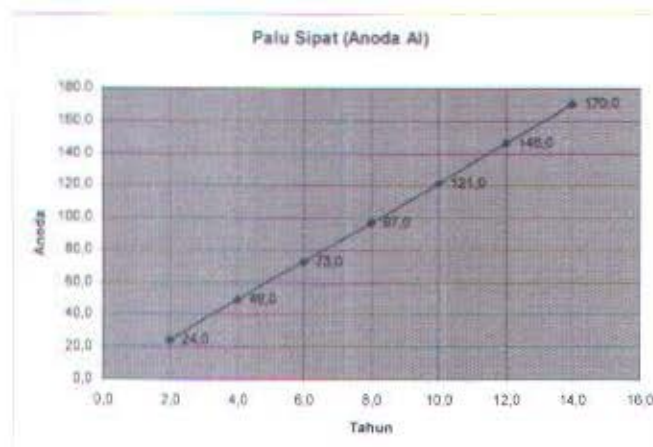


d. Kebutuhan anoda pada kapal Palu Sipat dengan menggunakan anoda Al

Data Kapal	Palu Sipat	
Loa	105	m
Lwl	101	m
Lpp	99.0000	m
B	18.800	m
H	8.500	m
Draft	6.000	m
Cb	0.750	
Dim. Propeller	3.700	m
Luas yang diproteksi		
WSA	2465,1	m ²
Kemudi	11,295	m ²
	2476,4	m ²
Efek dari propeller	12,89598	A
Kapasitas anoda	2700	Ah/Kg
Faktor utilitasi (u)	0,8	
Type Anoda (Zn)	Al-8,5	
Berat bersih	8	Kg
Dimensi	p	l
	500	125
	0,5	0,125
		50
		0,05

Luas proteksi m ²	Coating Category II				Kerapatan Arus (CD)	Kebutuhan Arus (Ic)	Berat Anoda	Jumlah anoda Zn
	Fc	k1	k2	Th	A / m ²	Ampere	Kg	Unit
2476,4	0,1	0,05	0,03	2,0	0,09	37,41	194,2	24
	0,11	0,05	0,03	4,0	0,09	37,41	388,4	49
	0,11	0,05	0,03	6,0	0,09	37,41	582,6	73
	0,11	0,05	0,03	8,0	0,09	37,41	776,8	97
	0,11	0,05	0,03	10,0	0,09	37,41	971,1	121
	0,11	0,05	0,03	12,0	0,09	37,41	1165,3	146
	0,11	0,05	0,03	14,0	0,09	37,41	1359,5	170

Tabel 4.7 Perhitungan kebutuhan anoda Al untuk kapal Palu Sipat



Gambar 4.4 Grafik jumlah anoda vs tahun (untuk kapal Palu Sipat dengan anoda Al)

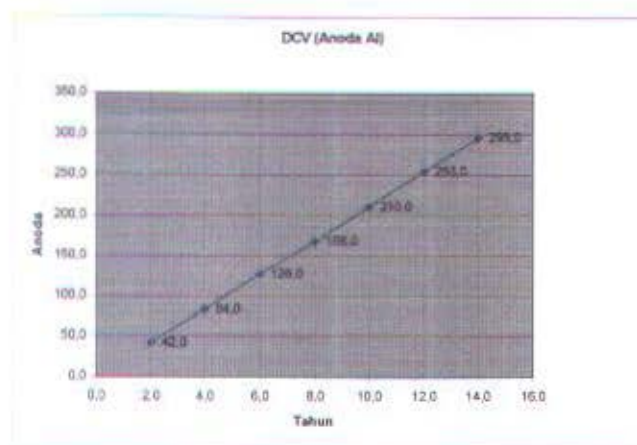


e. Kebutuhan anoda pada kapal DCV dengan menggunakan anoda Al

Data Kapal	DCV	
Loa	141	m
Lwl	136,986	m
Lpp	134,0000	m
B	22,500	m
H	12,850	m
Draft	8,250	m
Cb	0,780	
Dim. Propeller	4,800	m
Luas yang diproteksi		
WSA	4341,6	m ²
Kemudi	18,847094	m ²
	4360,447	m ²
Efek dari propeller	21,70368	A
Kapasitas anoda	2700	Ah/Kg
Faktor utilitasi (u)	0,8	
Type Anoda (Zn)	Al-8,5	
Berat bersih	8	Kg
Dimensi	p	l t
	500	125 50
	0,5	0,125 0,05

Luas proteksi m ²	Coating Category II				Kerapatan Arus (CD)	Kebutuhan Arus (Ic)	Berat Anoda	Jumlah anoda Zn
	Fc	k1	k2	Th	A /m ²	Ampere	Kg	Unit
4360,447	0,1	0,05	0,03	2,0	0,09	64,87	336,8	42
	0,11	0,05	0,03	4,0	0,09	64,87	673,5	84
	0,11	0,05	0,03	6,0	0,09	64,87	1010,3	126
	0,11	0,05	0,03	8,0	0,09	64,87	1347,0	168
	0,11	0,05	0,03	10,0	0,09	64,87	1683,8	210
	0,11	0,05	0,03	12,0	0,09	64,87	2020,5	253
	0,11	0,05	0,03	14,0	0,09	64,87	2357,3	295

Tabel 4.8 Perhitungan kebutuhan anoda Al untuk kapal DCV



Gambar 4.5 Grafik jumlah anoda vs tahun (untuk kapal DCV dengan anoda Al)

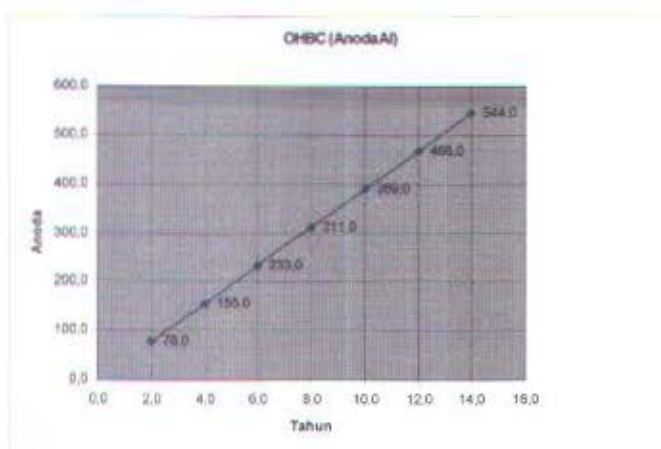


f. Kebutuhan anoda pada kapal OHBC dengan menggunakan anoda Al

Data Kapal	OHBC
Loa	189 m
Lwl	185,64 m
Lpp	182,0000 m
B	30,500 m
H	16,900 m
Draft	11,000 m
Cb	0,800
Dim. Propeller	6,500 m
Luas yang diproteksi	
WSA	8044,4 m ²
Kemudi	34,075975 m ²
	8078,476 m ²
Efek dari propeller	39,7995 A
Kapasitas anoda	2700 Ah/Kg
Faktor utilitasi (u)	0,8
Type Anoda (Zn)	Al-8,5
Berat bersih	8 Kg
Dimensi	p l t
	500 125 50
	0,5 0,125 0,05

Luas proteksi m ²	Coating Category II				Kerapatan Arus (CD)	Kebutuhan Arus (Ic)	Berat Anoda	Jumlah anoda Zn
	Fc	k1	k2	Th	A /m ²	Ampere	Kg	Unit
8078,476	0,1	0,05	0,03	2,0	0,09	119,78	621,8	78
	0,11	0,05	0,03	4,0	0,09	119,78	1243,5	155
	0,11	0,05	0,03	6,0	0,09	119,78	1865,3	233
	0,11	0,05	0,03	8,0	0,09	119,78	2487,1	311
	0,11	0,05	0,03	10,0	0,09	119,78	3108,6	389
	0,11	0,05	0,03	12,0	0,09	119,78	3730,6	466
	0,11	0,05	0,03	14,0	0,09	119,78	4352,4	544

Tabel 4.9 Perhitungan kebutuhan anoda Al untuk kapal OHBC



Gambar 4.6 Grafik jumlah anoda vs tahun (untuk kapal OHBC dengan anoda Al)



4.1.13 Berpedoman pada kebutuhan arus

Perhitungan ini bertujuan untuk mendapatkan besar arus proteksi sesungguhnya dan berat penyusutan anoda yang digunakan. Untuk mencari besar arus proteksi yang sesungguhnya digunakan tabel spesifikasi anoda dan juga didasarkan pada jenis coating (cat) yang dipakai. Dari perhitungan ini dapat segera diketahui kemampuan proteksi yang dapat diberikan oleh jenis anoda yang bersangkutan.

Untuk jelasnya, dapat dilihat pada hasil perhitungan di bawah ini :

Luas permukaan anoda

Untuk anoda dengan type Zn-8.0

> Dimensi

Length (panjang) = 300 mm

Wide (lebar) = 150 mm

High (tinggi) = 25 mm

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{(L \times W) + (2 \times L \times H) + (2 \times W \times H)}{100} \text{ (cm}^2\text{)} \\
 &= \frac{(300 \times 150) + (2 \times 300 \times 25) + (2 \times 150 \times 25)}{100} \\
 &= 675 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Tahanan dari anoda

Tahanan anoda

$$R = (0,315 \times \rho) \sqrt{A} \text{ (ohm) [DNV,1993]}$$

dimana ρ = seawater resistivity (ohm-cm)

= 20 ohm-cm

A = Luas permukaan anoda (cm²)



$$= 675 \text{ cm}^2$$

$$R = (0,315 \times 20) / \sqrt{675}$$

$$= 0,242 \text{ ohm}$$

Arus dari anoda

Arus dari anoda

$$i = \frac{V}{R}$$

dimana i = arus dari anoda (A)

$$V = 0,25 \text{ V}$$

$$R = 0,242 \text{ ohm}$$

$$i = \frac{0,25}{0,242}$$

$$= 1,031 \text{ A}$$

Jumlah anoda yang dibutuhkan

> Pada awal

$$\text{Jumlah anoda} = (\text{kebutuhan arus pd awal}) / (\text{arus dari anoda})$$

$$= 17,575 / 1,031$$

$$= 17,473 \approx 18 \text{ buah}$$

Setelah didapat dari hasil perhitungan diatas antara yang berpedoman pada berat dengan berpedoman pada arus, ternyata anoda yang di butuhkan untuk yang berdoman arus lebih sedikit sehingga yang dipakai untuk penentuan jumlah anoda adalah dengan berdasar pada pedoman berat.

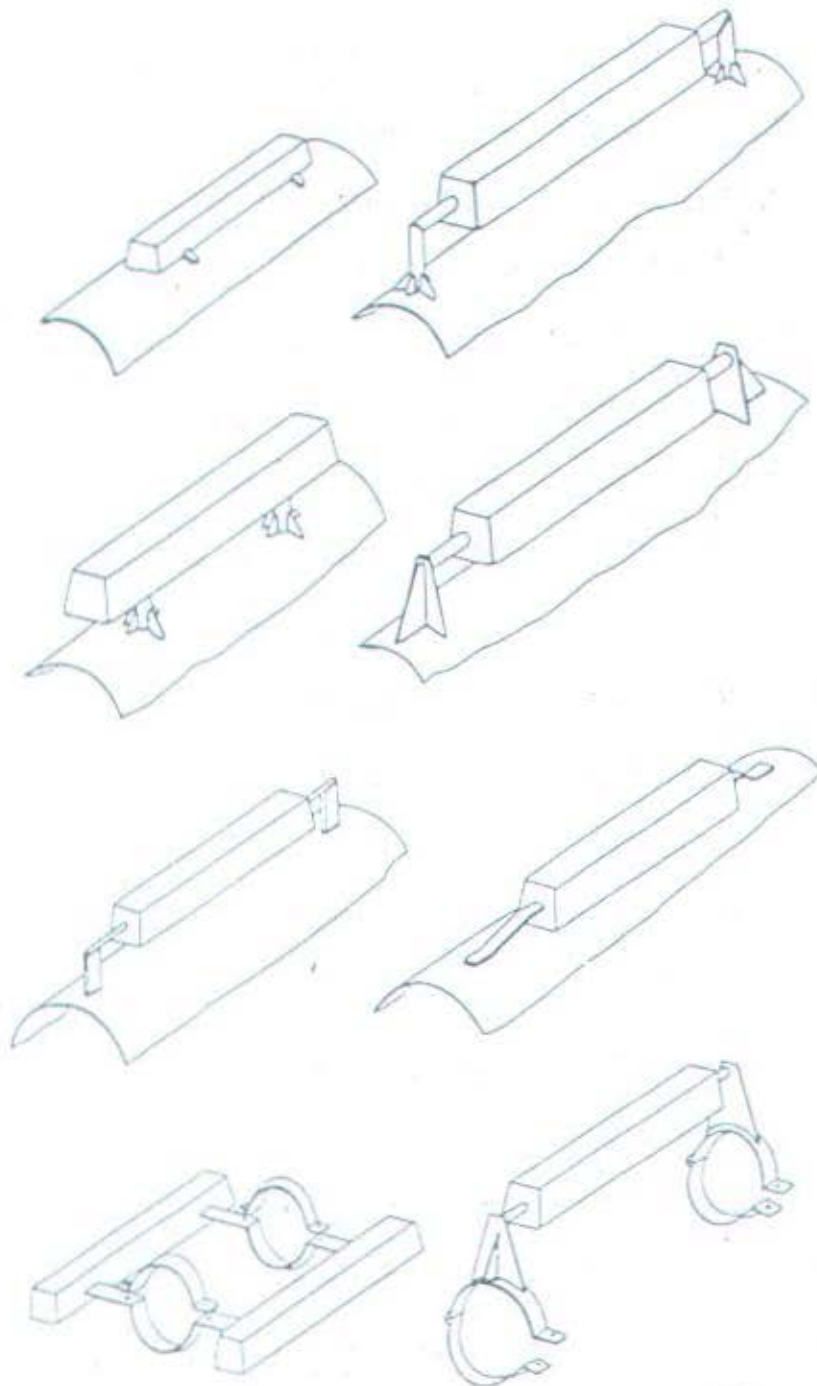
4.1.14 Metode Pemasangan

Ukuran-ukuran yang berbeda memberikan area permukaan yang berbeda untuk berat yang sama. Ini berarti bahwa perbedaan bentuk memberikan umur



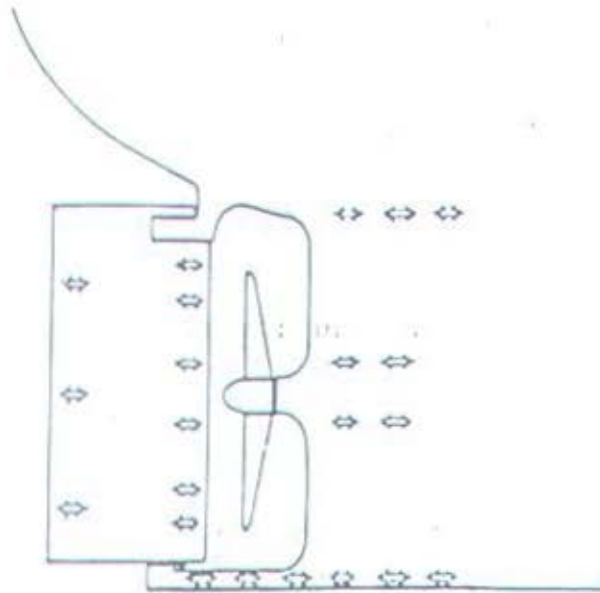
anoda yang berbeda untuk berat yang sama. Umumnya bentuk anoda ditentukan untuk memberikan arus output yang tertentu pula. Dalam beberapa hal, bentuk anoda dirancang menyesuaikan bentuk ruang pembatas struktur baja yang akan dilindungi.

Dalam perkembangan anoda untuk melindungi badan kapal ini dipakai dua metode yang berbeda. Yang pertama dan umum dipakai yaitu dengan jalan anoda dilaskan langsung pada badan kapal. Pada sisi bawah dilakukan coating dengan keramik atau dengan pengecatan *zinc coating insert*. Teknik lain adalah dengan membuat penyangga yang dilaskan pada badan kapal atau pada double plat.



Gambar 4.7 Beberapa bentuk anoda tumbal





Gambar 4.8 Peletakan anoda tumbal pada bagian stern

Anoda didesain untuk melindungi bagian tertentu pada badan kapal. Semakin besar luasan semakin besar jumlah anoda yang dipasang. Pada daerah tertentu yang dilindungi dengan coating perhitungan tergantung pada jenis coating. Daerah stern pada kapal karena turbulensi yang diakibatkan propeler, memerlukan kerapatan arus yang lebih tinggi. Jadi dipasang cukup banyak pada daerah ini. Penambahan dilakukan pada skeg dan kemudi untuk melakukan perlindungan tersendiri. (DNV, 1993)

Di sepanjang bagian tengah lambung (sekitar midship), anoda dipasang pada garis bilge keel, tidak jarang dipasang pada bilge keelnya sendiri. Sejumlah anoda dan pendistribusiannya di sepanjang kapal di hitung berdasarkan pengalaman perusahaan-perusahaan proteksi katodik dan terdapat standar perencanaan anoda-anoda yang dimiliki. Anoda-anoda tidak dapat diletakkan pada bagian depan dibawah jangkar, sebab bisa rusak karena terkena tali jangkar .

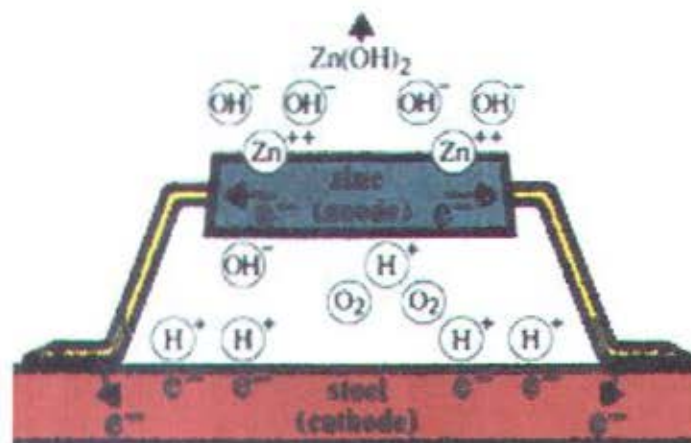
Anoda-anoda dirancang sedemikian hingga mampu melakukan proteksi selama periode antara pengedokan. Biasanya berselang dua tahun disesuaikan



dengan jadwal pengedokan. Perhitungan perencanaan dalam pemasangan anoda mempertimbangkan pula kemungkinan anoda termakan seluruhnya atau tidak.. Waktu yang diambil untuk penggantian ini mungkin menambah periode pengedokan yang mana aspek keuangan dipertimbangkan kemudian.

Adalah sulit memperkirakan besarnya arus yang diperlukan selama periode kapal beroperasi. Untuk menjaga agar anoda-anoda cukup mampu melindungi lambung bila harus menjumpai kerusakan coating maka dibuat overproteksi. Hal ini lebih baik dari pada mengalami kekurangan proteksi. Bila coating lambung terpelihara dengan baik, tidak dapat kerusakan, kapal akan selalu terproteksi, namun perlu dihindari terjadinya overproteksi yang bisa merusak coating. Anoda-anoda itu sendiri disamping bentuknya yang menonjol, juga dapat menambah sarat kapal.

Anoda-anoda tumbal digunakan untuk memberikan perlindungan katodik yang cukup agar las-lasan tidak termakan, plat tidak terkorosi, dan bahkan manakala sebagian besar coating terkelupas, badan badan kapal cukup terpelihara dari serangan korosi.



Gambar 4.9 Proses korosi pada anoda tumbal



4.2 Metode Arus Terpasang (ICCP)

4.2.1 Kriteria Desain

■ Data Kapal

Nama Kapal : Palu Sipat

Ukuran utama kapal

Loa (Length over all) : 105 m

Lwl (Length water line) : 101 m

Lpp (Length perpendicular) : 99 m

B (Breadth) : 18,8 m

H (High) : 8,5 m

D (Draft) : 6 m

Cb : 0,75

■ Luasan yang dilindungi :

$$\begin{aligned} \text{WSA} &= (1,8 \times L_{pp} \times T) + (C_b \times L_{pp} \times B) \\ &= (1,8 \times 99 \times 6) + (0,75 \times 99 \times 18,8) \\ &= 2465,1 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{kemudi}} &= \frac{T \times L_{pp}}{100} \left(1 + 25 \left(\frac{B}{L_{pp}} \right)^2 \right) \quad (\text{m}^2) \\ &= \frac{6 \times 99}{100} \left(1 + 25 \frac{18,8^2}{99^2} \right) \quad (\text{m}^2) \\ &= 11,2952 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas yang harus diproteksi adalah} &= \text{WSA} + A_{\text{kemudi}} \\ &= 2465,1 + 11,2952 \\ &= 2476,3952 \text{ m}^2 \end{aligned}$$



■ Anoda Permanent

- Bahan : Platinized Titanium
- Jumlah : 4 buah
- Arus output : 20 A/buah
- Ukuran : 25 t x 420 /buah
- Berat : 5 kg/buah

■ Elektroda Referensi

- Bahan : Zinc Alloy
- Jumlah : 2 buah
- Ukuran : 174 mm x 25 mm t /buah
- Berat : 3 kg/buah

Luas proteksi	Coating Category II				Kerapatan Arus (CD) A / m ²	Kebutuhan Arus (Ic) Ampere
	Fc	k1	k2	Tahun		
2476,40	0,11	0,05	0,03	2,0	0,09	37,41
	0,11	0,05	0,03	4,0	0,09	37,41
	0,11	0,05	0,03	6,0	0,09	37,41
	0,11	0,05	0,03	8,0	0,09	37,41
	0,11	0,05	0,03	10,0	0,09	37,41
	0,11	0,05	0,03	12,0	0,09	37,41
	0,11	0,05	0,03	14,0	0,09	37,41

Tabel 4.10 Perhitungan kebutuhan arus untuk metode ICCP

Dari salah satu contoh perhitungan untuk metode ICCP di atas, dapat dilihat bahwa kebutuhan arus untuk jangka waktu selama 15 tahun adalah sama. Sedangkan untuk kebutuhan anoda tidak perlu dihitung, karena untuk metode ICCP biasanya dengan 1 atau 2 buah anoda dapat digunakan untuk kurun waktu yang lama. Sehingga dalam hal ini untuk metode ICCP yang perlu diperhatikan

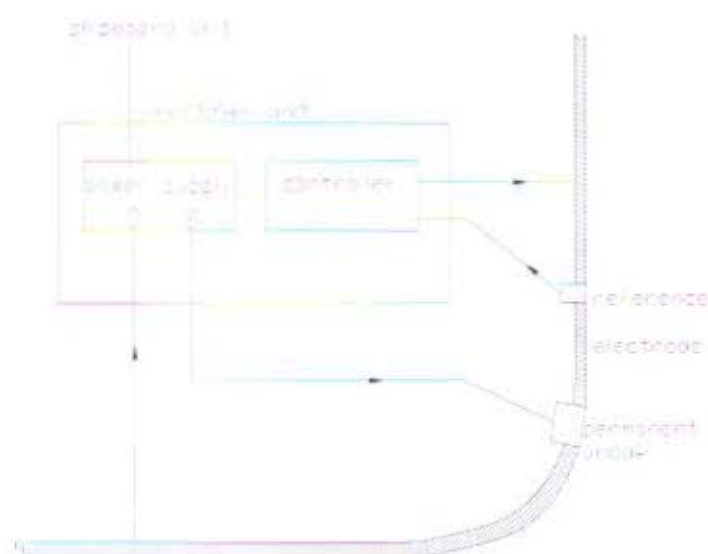
adalah bagaimana melakukan pemeliharaan yang baik dan benar agar sistem ini dapat diandalkan untuk periode yang lama.

4.2.2 Sistem ICCP

Tujuan sistem ini adalah untuk mengeliminir pengkaratan atau korosi yang terjadi pada logam yang tercelup dalam air. Perlindungan korosi pada lambung terbuka, dan tempat-tempat tersembunyi semacam sea-chest, umumnya dilakukan pada tingkat tertentu saja, kecuali pada pembuatan perencanaan instalasi khusus.

Tujuan dari *automatic controller rectifier* adalah untuk memonitor secara terus menerus tingkat proteksi katodik pada permukaan metal yang tercelup dan untuk menempatkan /menyesuaikan suplai arus yang di salurkan melalui anoda permanen untuk mengoptimumkan perlindungan.

Sistem ini terdiri dari beberapa anoda permanen, elektroda referensi dan rectifier dengan *unit controller*, bentuk dan ukuran komponen-komponen dan posisinya disepanjang lambung sudah dikhususkan sesuai dengan desain parameter mengikuti naik turunnya kebutuhan arus proteksi yang mungkin dialami karena perubahan-perubahan kondisi lingkungan selama pengoperasian.



Gambar 4.10 Diagram blok sistem ICCP

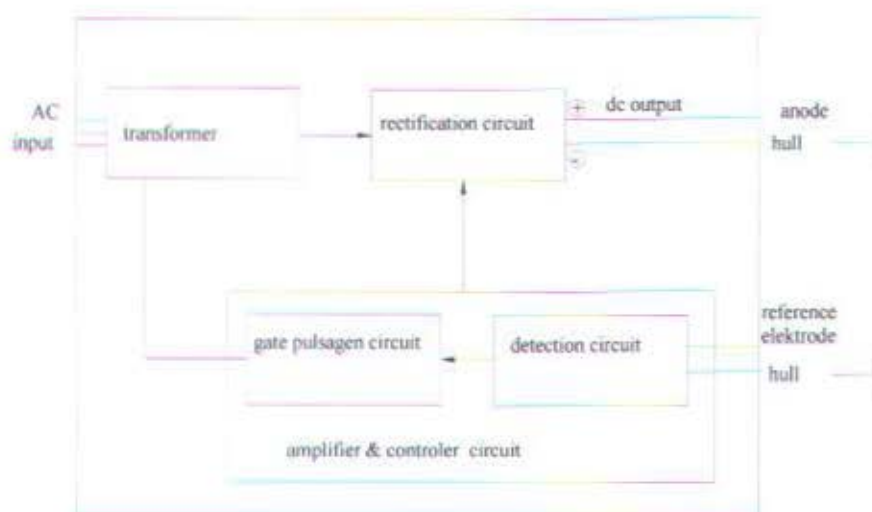


Anoda-anoda permanen dan elektroda-elektroda referensi dipasang pada pelat lambung dibawah permukaan air. Kutub negatif (-) dari sumber arus DC dihubungkan ke pelat lambung sedangkan kutub positif (+) pada anoda-anoda permanent. Sedemikian hingga arus proteksi dapat mengalir dari anoda melalui elektrolit ke lambung kapal. Arus proteksi ini terkontrol secara otomatis, sehingga terpelihara pada range beda potensial antara elektroda reference dan lambung yang konstan setiap saat.

4.2.3 Komponen-Komponen Sistem

4.2.3.1 Rectifier

Potensial lambung harus terpelihara pada range -770 mV sampai -900 mV (SCE). Yang mana hal ini berarti harus ada penurunan bila arus output di atas potensial proteksi pada range tersebut dan penambahan bila potensial di bawahnya. Power suplai sebesar 440 V, 3 phase, 60 Hz dan voltage output DC sebesar 30 V. Arus output dikontrol dengan sistem *control rectifier*.



Gambar 4.11 Diagram blok rectifier



Potensial yang diukur dengan *reference* dibesarkan melalui transistor amplifier, selanjutnya perbedaanya dengan potensial yang sudah diset sebelumnya dibesarkan melalui rangkaian transistor kemudian arus pelindung diset pada harga yang seharusnya dengan *saturated reactor control*. Besarnya arus proteksi berubah-ubah sesuai dengan naik turunnya potensial lambung dan rangkaian *control rectifier* ini untuk mengatur arus proteksi menyesuaikan perubahan-perubahan kebutuhan arus.



Gambar 4.12 Rectifier

4.2.3.2 Anoda permanen.

Anoda-anoda permanen dipasang pada pelat lambung dengan isolator agar arus yang langsung ditransformasikan dengan *rectifier* dapat tersebar ke air sebagai arus proteksi.

Bahan anoda adalah *Platinized Titanium*. Tipe standard dengan kapasitas arus yang dikeluarkan sebesar. 20 A, 40 A, 75 A, 100 A, 150 A dengan beda potensial sebesar 25 V pada kondisi air laut normal (20 ohm cm).



Ujung-ujung kabel dikemas dalam *cofferdam box* yang kedap. Ujung kawat dalam ruang pompa dihubungkan pada kawat yang berasal dari rectifier dalam *cofferdam box*. Sedangkan yang ada didalam tangki balas dikemas dalam pipa baja yang kedap air dan dikeluarkan diatas permukaan tangki balas, dan dihubungkan pada kabel dari rectifier didalam *cofferdam box*.

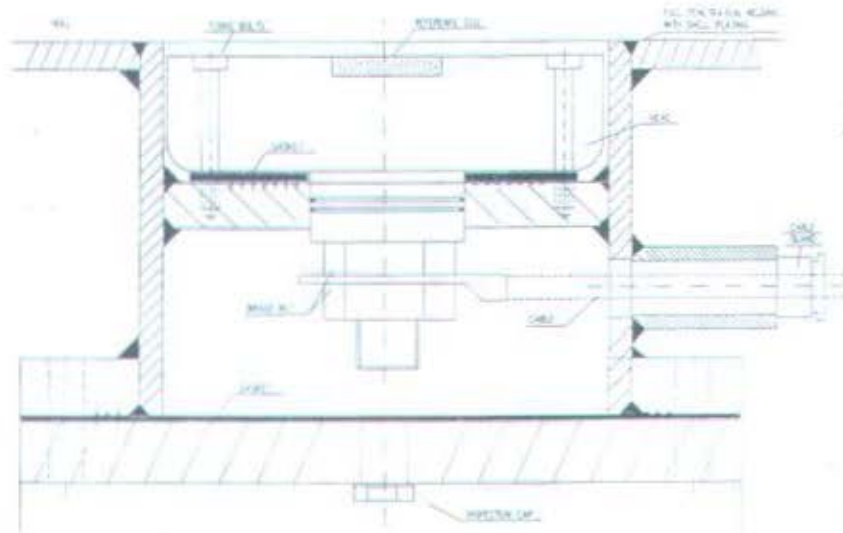
Semua tipe anoda permanen diperlengkapi dengan sebuah *cofferdam incorporating* sebuah double "O" *ring packing* untuk menjamin kededapan air dari penetrasi lambung untuk hubungan anoda secara elektrik.

4.2.3.3 Lapisan pelindung arus

Logam yang mempunyai kerapatan arus tinggi apabila digunakan sebagai anoda pada perlindungan katodik maka anoda tersebut harus dilindungi lapisan batas pelindung arus (*dielectric shield*). Lapisan ini dimaksudkan untuk menghindari terlalu tingginya arus disekitar anoda. karena densitas arus yang tinggi dapat merusak sistem pelapisan, misalnya lapisan pengecatan.

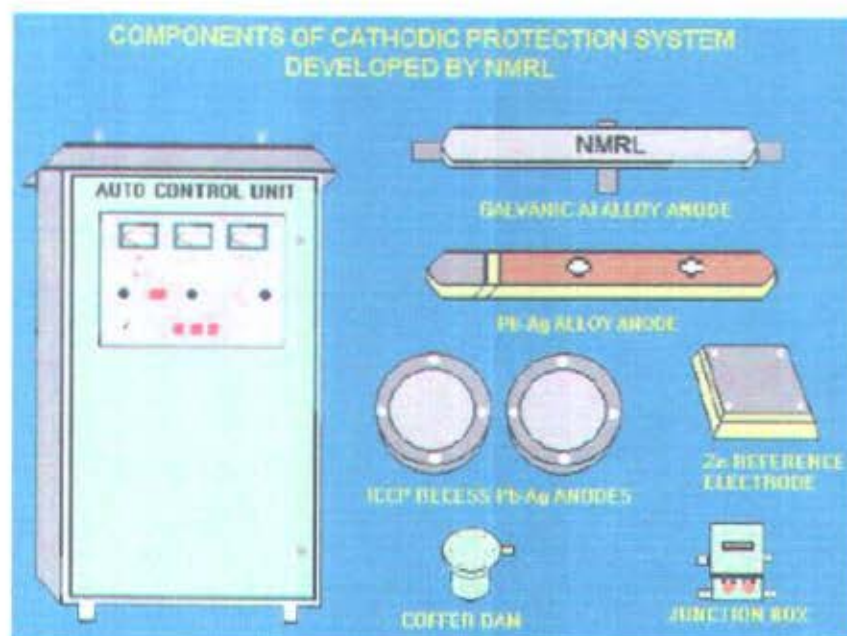
4.2.3.4 Elektroda referensi.

Elektroda referensi merupakan elektroda yang berfungsi mengukur dan mendeteksi potensial lambung dan untuk mengontrol arus output rectifier pada nilai yang sesuai dengan tanda dari elektroda. Gambar bahan dari elektroda referensi adalah Zinc Alloy, dan pelat dari elektroda referensi molded dalam sebuah *insulating resive holder*.



Gambar 4.13 Pemasangan elektoda referensi

Ujung-ujung kabel dikemas dalam cofferdam box yang kedap. Ujung kawat dihubungkan pada kawat yang berasal dari *amplifier dan contoler circuit cofferdam box*. Semua tipe anoda referensi diperlengkapi dengan sebuah cofferdam incorporating sebuah double “O” ring packing untuk menjamin kededapan air dari penetrasi lambung untuk hubungan anoda secara elektrik.



Gambar 4.14 Komponen – komponen ICCP

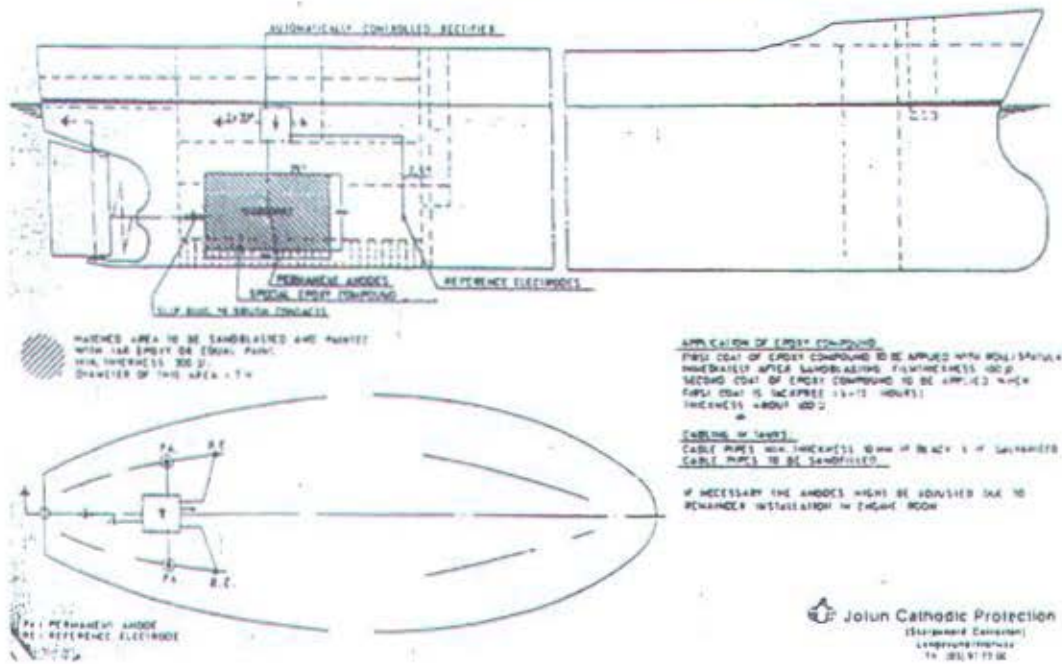


4.2.4 Metode Pemasangan

Dalam pemasangan untuk kapal-kapal masa kini, anoda-anoda ditempatkan di sekitar haluan atau buritan, karena di situ peralatan untuk sistem lebih mudah dijangkau.

Proteksi katodik arus terpasang selalu di kombinasikan dengan metode pelapisan. Pelapisan sebagai proteksi primer sedangkan proteksi katodik sebagai penunjang pada bagian-bagian yang kemungkinan mempunyai cacat. Selama lapisan pelindung masih baru, sistem arus terpasang hampir tidak diperlukan. Namun sesudah kapal dioperasikan cukup lama dan catnya mulai rusak disana-sini, proteksi katodik semakin dibutuhkan. Akhirnya kebutuhan akan perlindungan oleh sistem proteksi katodik akan lebih besar dari kemampuan yang direncanakan.

Arus anoda yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan lebih besar terhadap bahan pelapis, terutama disekitar anoda karena disitu ion-ion hidroksil dalam konsentrasi yang tinggi. Selain itu arus lokal yang tinggi di sekitar anoda dapat mengurangi perlindungan yang di berikan kepada struktur. Jadi walaupun dengan metode arus terpasang jadwal perawatan ulang di galangan lebih renggang dari pada dengan metode anoda tumbal. Perawatan lambung kapal tetap merupakan produser yang tidak bisa di sepelekan. Namun meskipun sistem ICCP telah digunakan untuk melindungi lambung kapal, orang masih menambakan anoda seng sebagai tumbal ditempat-tempat penyedotan air laut karena disitu efek metode arus terpasang tidak memadai



Gambar 4.15 Penempatan ICCP pada kapal

Bagian paling penting pada kapal dalam penentuan distribusi potensial diseluruh lambung adalah buritan, karena adanya paduan bukan besi yang di gunakan untuk baling-baling. Dengan model kita dapat melakukan simulasi yang teliti menggunakan data yang diperoleh dari pengukuran terhadap kapal, sesungguhnya dalam kondisi statik. Ketika dalam simulasi itu kita menambahkan faktor kecepatan, ternyata sistem proteksi yang dirancang untuk kondisi statik tidak mampu menghasilkan potensial yang dibutuhkan untuk daerah buritan. Dengan menambahkan sebuah elektroda pengendali dan mengatur kembali letak elektroda - elektroda pengendali lain, kita bisa mendapatkan tingkat proteksi yang baik diseluruh model, baik dalam kondisi statik maupun dinamik. Ini sekaligus membuktikan betapa pentingnya posisi acuan untuk pengoperasian sistem yang efektif.

Badan kapal yang terdiri atas lambung dan tonjolan-tonjolan dan tambahan-tambahan seperti *bilge keel*, propeler, kemudi, dan lain-lain, diproteksi



bersama lambung. Kemudi diproteksi bersama lambung tetapi perlu dipasang penghubung pada *rudder bearing* untuk memperbaiki konduktivitasnya.

Propeler, ketika berputar terisolasi elektrik dari lambung karena adanya lapisan minyak pada bearing. Hal ini tidak terjadi secara langsung, tetapi semakin tampak setelah beberapa lama beroperasi dan terjadi reduksi pada metal baring. Bada potensial antara poros dengan lambung bisa mencapai 200 mV. Sampai dengan 300 mV. Untuk itu perlu dilakukan penyambungan secara elektrik, sehingga terbentuk satu rangkaian antara poros dengan lambung. Beberapa jenis material dapat digunakan untuk menyambungkan poros yang berputar dengan lambung, diantaranya adalah carbon atau grafit *brush rubbering* pada poros. (Morgan, 1987)



BAB V

ANALISA EKONOMIS

5.1 Pendahuluan

Biaya investasi awal baik untuk metode anoda tumbal (SACP) maupun metode arus terpasang (ICCP) merupakan salah satu faktor penting untuk suatu kapal dalam menjalankan fungsi ekonomisnya. Sehingga hal ini harus diperhatikan selama periode waktu yang telah ditentukan untuk SACP dan ICCP sebagai perlindungan badan kapal.

Dalam hal ini tinjauan aspek ekonomis untuk pembahasan tugas akhir ini diasumsikan dengan periode waktu selama 15 tahun.

Taksiran pembiayaan pada sistem proteksi katodik *impressed current* berbeda dengan cara penaksiran pada sistem anoda tumbal. Pembiayaan pada sistem arus terpasang memiliki dua unsur utama, yaitu biaya awal atau biaya modal (*capital cost*) dan biaya operasional (terdiri dari power yang dikonsumsi sistem serta biaya inspeksi atau perawatan). Untuk biaya awal biasanya memakan biaya yang sangat besar dan hal ini akan menjadi unsur utama dalam pembiayaan sistem ini. Biaya awal ini terdiri dari biaya anoda (permanen ataupun yang tahan lama), biaya kabel – kabel listrik, biaya generator, dan biaya pemantauan potensial atau biaya kontrol.

Perhitungan ekonomis proteksi anoda tumbal dilakukan dengan mengasumsikan bahwa pemilihan spesifikasi bahan dan peralatan baik secara teknis maupun ekonomis, sudah optimal. Sistem perancangan untuk pemasangan atau penggantian adalah sama dan dilakukan secara periodik berselang dua tahun, sehingga secara ekonomis, proteksi anoda tumbal tidaklah sulit. Biaya anoda dan jumlah kebutuhannya dapat diketahui seiring dengan tahun pemakaiannya, sehingga biaya



tersebut dapat dihitung tiap pemakaiannya atau diperkirakan besarnya biaya penggantian untuk waktu tertentu.

Ada keterbukaan variasi didalam mendesain sebuah sistem arus terpasang dengan batasan-batasan yang telah ditentukan. Variasinya dapat dilakukan mulai dari type anoda yang digunakan sampai distribusi anoda atau konsentrasi anoda yang menghasilkan arus a.c yang diperlukan sedemikian rupa sehingga membutuhkan daya listrik kecil dibandingkan dengan distribusi DC, dengan memakai kabel besar namun powernya dari unit yang ekonomis. Penambahan tersebut merupakan masalah bagi pemeliharaan, ketangguhan, dan perlengkapan lainnya.

5.2 Analisa Biaya

5.2.1 Biaya Metode Anoda Tumbal

Untuk mengetahui besar biaya awal atau modal untuk jumlah anoda pada periode pertama pemakaiannya (selama 2 tahun), maka harus diketahui dahulu berapa nilai untuk satu unit anoda.

Dari data yang didapatkan, bahwa harga untuk 1 unit anoda Zn sebesar 3 USD sedangkan untuk 1 unit anoda Aluminium sebesar 5 USD. Harga ini berlaku untuk per kilogram (per kg). Berat untuk anoda Zn adalah 8 kg, sedangkan untuk anoda Al adalah 8,5 kg.

Jika saat ini 1 USD diasumsikan sebesar Rp 9200,- maka :

- Anoda Zn :

$$1 \text{ anoda} = 3 \text{ USD/kg}$$

$$1 \text{ anoda/8 kg} = 3 \times 8 \times \text{Rp } 9200,-$$

$$= \text{Rp } 220.800,-$$

- Anoda Al :



$$1 \text{ anoda} = 5 \text{ USD/kg}$$

$$1 \text{ anoda}/8,5 \text{ kg} = 5 \times 8,5 \times \text{Rp } 9200,-$$

$$= \text{Rp } 391.000,-$$

Sedangkan untuk pemasangannya, 1 unit anoda (untuk semua jenis anoda) membutuhkan 0,25 jam orang (JO). Yang mana nilai untuk 1 JO yang berlaku adalah Rp 22.500,-. Maka besar nilai JO untuk pemasangan anoda, adalah :

$$1 \text{ JO} = \text{Rp } 22.500,-$$

$$0,25 \text{ JO} = \text{Rp } 22.500,- \times 0,25$$

$$= \text{Rp } 5625,-$$

5.2.2 Analisa biaya metode anoda tumbal

Besarnya investasi yang dikeluarkan untuk metode ini dapat dihitung terlebih dahulu seberapa besar modal awalnya. Modal awal ini merupakan biaya yang dihitung berdasarkan jumlah anoda yang dipakai untuk periode pertama (selama 2 tahun). Biaya ini dapat dikelompokkan menjadi :

- Biaya pengadaan anoda

Biaya ini berdasarkan jumlah anoda yang dipakai per periodenya sampai masa periode tersebut habis.

- Biaya pemasangan anoda

Biaya ini berdasarkan nilai jam orang yang telah berlaku untuk pemasangan per unit anoda.

Dalam pemakaian anoda tumbal selama 15 tahun akan membutuhkan 7 kali penggantian, hal ini dikarenakan umur dari anoda tumbal tersebut.

Untuk mengetahui besarnya modal awal (perhitungan anoda Zn untuk kapal Palu Sipat) yang dikeluarkan pada metode ini, dapat dilihat perhitungan di bawah ini :



- Biaya pengadaan anoda (m_1)

Dari perhitungan di bab sebelumnya, telah didapatkan jumlah anoda yang dipakai untuk periode pertama selama 2 tahun. Jumlah anoda yang didapatkan dari perhitungan analisa teknis untuk kapal Palu Sipat adalah 89 unit (dari tabel 4.4)

Maka modal awal untuk anoda ini adalah :

$$\begin{aligned} 1 \text{ anoda}/8 \text{ kg} &= \text{Rp } 220.800,- \\ 89 \text{ anoda}/8 \text{ kg} &= \text{Rp } 220.800,- \times 89 \\ &= \text{Rp } 19.651.200,- \quad (m_1) \end{aligned}$$

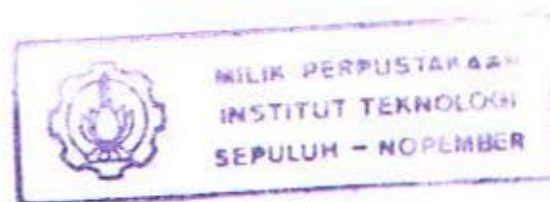
- Biaya pemasangan anoda (m_2)

Untuk pemasangan 89 unit anoda pada kapal adalah :

$$\begin{aligned} 1 \text{ anoda} &= 0,25 \text{ JO} \\ 89 \text{ anoda} &= 0,25 \times 89 \\ &= 22,25 \text{ JO} \end{aligned}$$

jika 0,25 JO membutuhkan biaya sebesar Rp 5625,- ,maka untuk 22,25 JO adalah :

$$\begin{aligned} 0,25 \text{ JO} &= \text{Rp } 5626,- \\ 22,25 \text{ JO} &= \text{Rp } 5625,- \times 22,25 \\ &= \text{Rp } 125.156,25 \quad (m_2) \end{aligned}$$



Sehingga dari perhitungan diatas akan didapatkan besarnya modal awal untuk periode pertama dengan menjumlahkan biaya pengadaan anoda (m_1) dan biaya pemasangan anoda (m_2), seperti dibawah ini :

$$\begin{aligned} \text{Total modal awal (M)} &= m_1 + m_2 \\ &= \text{Rp } 19.651.200,- + \text{Rp } 125.156,25,- \\ &= \text{Rp } 19.776.356,3 \end{aligned}$$



Besarnya nilai diatas yaitu Rp 19.776.356,3 merupakan biaya awal yang harus dikeluarkan untuk sejumlah 89 unit anoda Zn pada kapal.

Biaya awal tersebut akan berlaku hanya selama 2 tahun, hal ini karena dunia ekonomi biasanya dalam perkembangannya akan mengalami inflasi. Sehingga hal ini dapat menimbulkan terjadinya kenaikan harga, untuk itu dalam analisa ekonomis kali ini akan diasumsikan terjadi kenaikan harga anoda sebesar 1 % dan harga JO sebesar 5 % tiap 1 tahun.

Setelah mendapatkan biaya awal tersebut, maka langkah selanjutnya adalah menentukan besarnya investasi yang harus dikeluarkan selama kurun waktu 15 tahun. Dalam menentukan nilai investasi ini, digunakan suatu metode yang bernama metode pembayaran tunggal. Metode Pembayaran Tunggal merupakan salah satu cara untuk memahami perubahan nilai suatu mata uang terhadap berjalannya waktu. Dimana konsep yang digunakan ialah dengan mencari nilai F (future) dari nilai awal sebesar P (present) selama n (tahun) periode dengan tingkat i % (bunga) per periode, atau dapat dinyatakan seperti dibawah ini :

$$F = P (1+i)^n \dots\dots\dots (5.1)$$

dimana :

F : jumlah uang pada akhir n periode dari saat sekarang yang ekivalen dengan P yang memiliki bunga i

P : merupakan jumlah uang sekarang

i : tingkat suku bunga

n : jumlah tahun

Dari rumus diatas akan digunakan simbol fungsional (F/P, i%, N) untuk $(1+i)^n$, yang mana nilai numerik dari suku bunga untuk berbagai nilai i dan N dapat dilihat pada lampiran tabel suku bunga. Jadi persamaan diatas dapat dinyatakan



sebagai :

$$F = P(F/P, i\%, N) \dots\dots\dots (5.2)$$

Dengan metode perhitungan diatas maka pemakaian alternatif anoda antara metode SACP dan ICCP pada kapal dapat diprediksikan, yang mana hasilnya digunakan sebagai perbandingan nilai investasi pemasangan paling menguntungkan dalam kurun waktu tertentu.

Dalam pemakaian anoda tumbal selama 15 tahun akan membutuhkan 7 kali penggantian. Jika suku bunga adalah 10 % pertahun maka dalam 15 tahun biaya yang harus dikeluarkan dapat diprediksikan dengan menggunakan rumus 5.2.

Contoh perhitungan investasi anoda dapat dilihat di bawah ini :

Biaya awal anoda = Rp 19.776.356,3

Jika digambarkan dalam diagram kas, adalah sebagai berikut :

76.356,3 = P



Nilai Future tahun I (selama kurun waktu 2 tahun) =

$$\begin{aligned} F &= 19.776.356,3 (F/P, 10 \%, 2) \\ &= 19.776.356,3 \times 1,1664 \\ &= 23.303.653 \end{aligned}$$

nilai 1,1664 diambil dari tabel bunga untuk bunga sebesar 10 % pada lampiran tabel suku bunga.

Nilai Future tahun II =

$$F = 19.979.126 (F/P, 10 \%, 4)$$



$$= 19.979.126 \times 1.3605$$

$$= 27.460.569$$

Nilai nominal (P), merupakan nilai biaya awal dengan kenaikan harga anoda tiap tahunnya sebesar 1 %.

Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tahun pemakaian	Nilai nominal	if	Nilai real
0	Rp 19.776.356	1	Rp 19.776.356
2	Rp 19.979.126	1,1664	Rp 23.303.653
4	Rp 20.184.174	1,3605	Rp 27.460.569
6	Rp 20.391.535	1,7716	Rp 36.125.643
8	Rp 20.601.246	2,1436	Rp 44.160.830
10	Rp 20.813.343	3,1058	Rp 64.642.082
12	Rp 21.027.866	3,896	Rp 81.924.566
14	Rp 21.244.854	4,8871	Rp 103.825.724
Future value			Rp 401.219.424

Tabel 5.1 Future value pemakaian anoda Zn pada kapal Palu Sipat

Sehingga dari tabel diatas bahwa future value untuk pemakaian anoda Zn pada kapal Palu Sipat selama 15 tahun adalah Rp 401.219.424,-

Berikut ini adalah tabel – tabel perhitungan investasi untuk kapal yang lain :

Tahun pemakaian	Nilai nominal	if	Nilai real
0	Rp 9.417.750,00	1	Rp 9.417.750
2	Rp 9.513.277,50	1,1664	Rp 11.096.287
4	Rp 9.609.827,78	1,3605	Rp 13.074.171
6	Rp 9.707.414,43	1,7716	Rp 17.197.655
8	Rp 9.806.051,37	2,1436	Rp 21.020.252
10	Rp 9.905.752,81	3,1058	Rp 30.765.287
12	Rp 10.006.533,32	3,896	Rp 38.985.454
14	Rp 10.108.407,78	4,8871	Rp 49.400.800
Future value			Rp 190.957.655

Tabel 5.2 Future value pemakaian anoda Al pada kapal Palu Sipat



Tahun pemakaian	Nilai nominal	if	Nilai real
0	Rp 34.441.968,75	1	Rp 34.441.969
2	Rp 34.795.107,19	1,1664	Rp 40.585.013
4	Rp 35.152.212,95	1,3605	Rp 47.824.586
6	Rp 35.513.347,50	1,7716	Rp 62.915.446
8	Rp 35.878.574,02	2,1436	Rp 76.909.311
10	Rp 36.247.957,45	3,1058	Rp 112.578.906
12	Rp 36.621.564,61	3,896	Rp 142.677.616
14	Rp 36.999.464,21	4,8871	Rp 180.820.082
Future value			Rp 556.225.776

Tabel 5.3 Future value pemakaian anoda Zn pada kapal DCV

Tahun pemakaian	Nilai nominal	if	Nilai real
0	Rp 16.481.063	1	Rp 16.481.063
2	Rp 16.648.236	1,1664	Rp 19.418.502
4	Rp 16.817.199	1,3605	Rp 22.879.799
6	Rp 16.987.975	1,7716	Rp 30.095.897
8	Rp 17.160.590	2,1436	Rp 36.785.440
10	Rp 17.335.067	3,1058	Rp 53.839.252
12	Rp 17.511.433	3,896	Rp 68.224.544
14	Rp 17.689.714	4,8871	Rp 86.451.399
Future value			Rp 334.175.897

Tabel 5.4 Future value pemakaian anoda Al pada kapal DCV

Tahun pemakaian	Nilai nominal	if	Nilai real
0	Rp 63.550.987,50	1	Rp 63.550.988
2	Rp 64.202.584,88	1,1664	Rp 74.885.895
4	Rp 64.861.502,60	1,3605	Rp 88.244.074
6	Rp 65.527.854,09	1,7716	Rp 116.089.146
8	Rp 66.201.755,93	2,1436	Rp 141.910.084
10	Rp 66.883.327,94	3,1058	Rp 207.726.240
12	Rp 67.572.693,40	3,896	Rp 263.263.213
14	Rp 68.269.979,12	4,8871	Rp 333.642.215
Future value			Rp 1.289.311.855

Tabel 5.5 Future value pemakaian anoda Zn pada kapal OHBC



Tahun pemakaian	Nilai nominal	if	Nilai real
0	Rp 30.607.687,50	1	Rp 30.607.688
2	Rp 30.918.151,88	1,1664	Rp 36.062.932
4	Rp 31.231.940,27	1,3605	Rp 42.491.055
6	Rp 31.549.096,89	1,7716	Rp 55.892.380
8	Rp 31.869.666,94	2,1436	Rp 68.315.818
10	Rp 32.193.696,64	3,1058	Rp 99.987.183
12	Rp 32.521.233,29	3,896	Rp 126.702.725
14	Rp 32.852.325,30	4,8871	Rp 160.552.599
	Future value		Rp 620.612.380

Tabel 5.6 Future value pemakaian anoda Al pada kapal OHBC

5.2.3 Biaya Metode Arus Terpasang

Biaya untuk sistem ini dapat dikelompokkan menjadi :

- Biaya pengadaan anoda
- Biaya pemasangan

Berikut ini adalah contoh penghitungan biaya pemakaian ICCP untuk kapal

Palu Sipat. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Biaya pengadaan anoda

Dalam 1 paket ICCP produksi JOTUN NOF (S) PTE LTD mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- ♦ 1 buah rectifier
- ♦ 2 buah anoda dari titanium, dengan kapasitas masing-masing 20 A
- ♦ 2 buah coferdam untuk anoda
- ♦ 2 buah elektroda referensi
- ♦ 2 buah coferdam untuk elektroda referensi
- ♦ 1 lot lapisan pelindung arus
- ♦ 1 set suku cadang untuk rectifier
- ♦ 1 set alat instalasi



Harga untuk 1 paket ini adalah 30.000 USD. Jika kita asumsikan 1 USD = Rp 9.200,- maka harga 1 paket ICCP adalah $30.000 \times \text{Rp } 9.200 = \text{Rp } 276.000.000,-$

2. Biaya pemasangan

Untuk pemasangan ICCP membutuhkan 84 JO dengan perincian sebagai berikut :

a. Bagian MO membutuhkan 56 JO, dengan perincian sebagai berikut :

- ◆ Marking membutuhkan 2 JO
- ◆ Cutting, bevel dan gerinda membutuhkan 10 JO
- ◆ Welding dan gerinda membutuhkan 32 JO
- ◆ Blasting membutuhkan 4 JO
- ◆ Pemasangan perlindungan arus membutuhkan 8 JO

b. Bagian EO membutuhkan 28 JO, dengan perincian sebagai berikut :

- ◆ Wiring cable membutuhkan 8 JO
- ◆ Penyambungan dan pengecekan kabel membutuhkan 16 JO
- ◆ Commisioning membutuhkan 4 JO

Jika 1 JO = Rp 22.500,- maka biaya pemasangan ICCP sebesar : $84 \times \text{Rp } 22.500,- = \text{Rp } 1.890.000,-$

3. Biaya pemakaian ICCP

Biaya pemakaian ICCP = biaya pengadaan + biaya pemasangan
= Rp 276.000.000 + Rp 1.890.000,-
= Rp 277.890.000,-



5.2.4 Analisa Biaya Metode Arus Terpasang

Selama 15 tahun dalam pemakaiannya tidak membutuhkan biaya untuk anoda, hal ini karena anoda pada sistem ini bersifat permanen. Sehingga untuk pembiayaannya hanya pada biaya operasi saja.

Berikut ini adalah contoh perhitungan sistem arus terpasang pada kapal Palu Sipat.

■ Biaya operasi untuk ICCP adalah :

- ICCP dalam operasinya membutuhkan 0,95 kwh sehingga dalam satu tahun membutuhkan $8760 \times 0,95 = 8322$ kwh.
- Jika 1 kwh membutuhkan 0,1101 liter maka untuk satu tahun membutuhkan $0,1101 \times 8322 = 916,2522$ liter
- Jika 1 liter solar Rp 1.650,- [Pertamina] maka biaya operasi dalam satu tahun membutuhkan $916,2522 \times \text{Rp } 1.650,- = \text{Rp } 1.512.000,-$
- Dalam biaya operasi terkait pula biaya untuk maintenance atau perbaikan – perbaikan, yang diasumsikan sebesar 3 % dari biaya pemakaian system ini. Besarnya biaya maintenance untuk system ICCP sebesar : $0,03 \times \text{Rp } 277.890.000,- = \text{Rp } 8.336.700,-$
- Sehingga total biaya operasi sebesar :
 $\text{Rp } 1.512.000,- + \text{Rp } 8.336.700,- = \text{Rp } 9.848.700,-$

Dengan analisa perhitungan seperti metode anoda tumbal diatas, yaitu mencari harga future (akan datang) yang berdasarkan nilai P (sekarang) selama n (tahun) dengan tingkat bunga sebesar i %. Kemudian diformulasikan sebagai :

$$F = P(1 + i)^n$$



Jika suku bunga 10 % untuk kurun waktu pemakaian selama 15 tahun,
maka biaya operasi ICCP untuk sebuah kapal adalah :

Tahun pemakaian	Nilai nominal	if	Nilai real
0	9.848.700	1,0000	9.848.700
1	9.848.700	1,0800	10.636.596
2	9.848.700	1,1664	11.487.523,7
3	9.848.700	1,2597	12.406.407,4
4	9.848.700	1,3605	13.399.156,4
5	9.848.700	1,6105	15.861.331,4
6	9.848.700	1,7716	17.447.956,9
7	9.848.700	1,9487	19.192.161,7
8	9.848.700	2,1436	21.111.673,3
9	9.848.700	2,7731	27.311.430
10	9.848.700	3,1058	30.588.092,5
11	9.848.700	3,4785	34.258.703
12	9.848.700	3,8960	38.370.535,2
13	9.848.700	4,3635	42.974.802,5
14	9.848.700	4,8871	48.131.581,8
Future value			353.026.652

Tabel 5.7 Future value pengoperasian metode ICCP dalam 15 Tahun

Sehingga Future value untuk pemakaian ICCP dalam 15 tahun adalah :

Biaya penggunaan = Biaya pengadaan + biaya operasi

Sebagai langkah awal adalah mencari nilai biaya pengadaan untuk 15 tahun yang akan datang, yaitu :

$$\begin{aligned}
 F &= \text{Rp } 277.890.000 (F/P, 1\%, 15) \\
 &= \text{Rp } 277.890.000 (1,4134) \\
 &= \text{Rp } 392.769.726,-
 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya penggunaan} &= \text{Rp } 392.769.726,- + \text{Rp } 353.026.652,- \\
 &= \text{Rp } 745.796.378,-
 \end{aligned}$$

5.3 Perbandingan Biaya

Perbandingan biaya pemakaian proteksi katodik antara Zn, Al dan ICCP akan dinyatakan dalam perbandingan antara luasan proteksi (m^2) dengan biaya yang dibutuhkan. Adapun nilai – nilai dari perbandingan tersebut dapat ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

Nama Kapal	Luas (m^2)	Future value biaya proteksi katodik dalam kurun waktu 15 tahun		
		Zinc Anoda	Alumunium Anoda	ICCP
Palu Sipat	2476,4	Rp 401.219.424,-	Rp 190.957.655,-	Rp 745.796.378,-
DCV	4360,45	Rp 556.225.776,-	Rp 334.175.897,-	Rp 785.154.188,-
OHBC	8078,48	Rp 1.289.311.855,-	Rp 620.612.380,-	Rp 864.622.552,-

Tabel 5.8 Perbandingan Biaya Proteksi Katodik

Jika ditunjukkan dalam grafik, akan tampak sebagai berikut :



Gambar 5.1 Grafik perbandingan biaya proteksi katodik



Gambar 5.1 menunjukkan perbandingan biaya pemakaian proteksi katodik antara Zn, Al dan ICCP yang dinyatakan dalam perbandingan antara luasan proteksi (m^2) dengan biaya yang dibutuhkan.

Dari grafik dan tabel di atas dapat dianalisa sebagai berikut :

- ❖ Perbandingan biaya proteksi katodik antara Zn, Al dan ICCP pada luasan 2476,4 m^2 . Pada luasan 2476,4 m^2 paling ekonomis menggunakan Al dibandingkan menggunakan Zn maupun ICCP. Sedangkan Zn berselisih sedikit dengan ICCP. Pada luasan 5690,6 m^2 biaya penggunaan Zn akan sama dengan biaya penggunaan ICCP.
- ❖ Perbandingan biaya proteksi katodik antara Zn, Al dan ICCP pada luasan 4360,45 m^2 . Pada luasan 4360,45 m^2 lebih ekonomis menggunakan ICCP dibandingkan menggunakan Zn ataupun Al. Sedangkan pada luasan 11524,4 m^2 biaya penggunaan Al akan sama dengan biaya penggunaan ICCP.
- ❖ Perbandingan biaya proteksi katodik antara Zn, Al dan ICCP pada luasan 8078,48 m^2 . Pada luasan 8078,48 m^2 paling ekonomis menggunakan ICCP dibandingkan menggunakan Zn ataupun Al. Sehingga setelah luasan 11524,4 m^2 penggunaan metode ICCP akan lebih ekonomis dibandingkan dengan metode anoda tumbal (*sacrificial anodes*).

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

**BAB VI****KESIMPULAN DAN SARAN****6.1 KESIMPULAN**

Berdasarkan analisa teknis dan analisa ekonomis yang dilakukan terhadap metode *Sacrificial Anodes Cathodic Protection (SACP)* dan *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)*, maka secara umum perbandingan antara SACP dan ICCP adalah :

1. Teknis

Aspek	SACP	ICCP
Sumber tenaga	tidak membutuhkan sumber listrik	membutuhkan sumber listrik dengan daya tergantung besarnya luas permukaan basah kapal
Jumlah anoda	Jumlah anoda yang dibutuhkan lebih dari 2 anoda yang harus selalu diganti	Jumlah anoda yang dibutuhkan hanya 1 sampai 2 anoda yang sifatnya permanen banyak, karena sudah menggunakan anoda permanen
Pemasangan	mudah, karena dapat dilas atau dibaut secara langsung pada permukaan yang dilindungi	kompleks dan membutuhkan desain yang teliti dalam pemasangannya
Kontrol output	output tidak dapat dikontrol	output dapat langsung dimonitoring
Masa pakai	Memiliki masa pakai lebih pendek, dengan masa 1-2 tahun	memiliki masa pakai relatif lebih lama, sampai 30 tahun
Driving potensial	driving potensialnya terbatas, sekitar 0,3 – 0,5 V	Memiliki driving voltage yang tinggi, sampai 440 V sehingga efisien untuk struktur yang lebih besar
Biaya	relatif lebih murah, yaitu \$ 3 untuk Zn anoda dan \$ 5 untuk Al anoda	relatif lebih mahal, bisa mencapai \$ 100.000
Maintenance	relatif tidak membutuhkan pemeliharaan	memerlukan inspeksi yang teliti, dengan pemeliharaan 6 bulan sekali

Tabel 6.1 Perbandingan SACP dan ICCP



Berdasarkan karakteristik dari masing masing cathodic protection, dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Untuk type Zinc alloy, per m^2 luas permukaan basah kapal dibutuhkan 2 – 4 unit anoda.
- Untuk type Aluminium alloy, per m^2 luas permukaan basah kapal dibutuhkan 1 – 2 unit anoda.
- Untuk type Zinc alloy dan Aluminium alloy, selalu memerlukan penggantian anoda berdasarkan waktu yang telah ditentukan.
- Type ICCP yang menggunakan anoda yang sifatnya permanent tidak memerlukan penggantian, sehingga umur metode ini relative lama minimal 30 tahun tergantung sifat coatingnya atau besar arus.

2. Ekonomis

Secara ekonomis pemilihan jenis cathodic protection tergantung pada :

- Luas permukaan basah kapal (dalam hal ini berdasarkan dari dimensi kapal tersebut).
- Lama pakai kapal (remaining lifetime).

Dari hasil perhitungan analisa teknis maupun ekonomis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan :

TEKNIS	Material bh/ m^2 /th	Pemasangan JO/ m^2 /th
Zn	2 s/d 4	0,5 s/d 1
Al	1 s/d 2	0,25 s/d 0,5
ICCP	1 paket	84

Tabel 6.2 Aspek teknis



EKONOMIS	Total biaya investasi yang dibutuhkan (per m ²)			
	10 th	15 th	20 th	25 th
Zn	Rp 83.178	Rp 137.227	Rp 288.661	Rp 449.410
Al	Rp 39.809	Rp 67.899	Rp 138.084	Rp 214.927
ICCP	Rp 94.006	Rp 111.535	Rp 152.505	Rp 210.629

Tabel 6.3 Investasi cathodic protection

Type Cathodic Protection	Luas permukaan basah kapal (m ²)			
	10 th	15 th	20 th	25 th
CP	< 400	Not recommended	Not recommended	Not recommended
	400 < . . < 16200	< 12600	< 8300	< 8000
	> 16200	> 12600	> 8300	> 8000

Tabel 6.4 Rekomendasi pemilihan cathodic protection

6.2 SARAN

Untuk lebih mengembangkan tugas akhir ini serta perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di masa yang akan datang, maka sebagai penulis menyarankan agar menganalisa lebih jauh tentang kedua metode tersebut dan membandingkan pengaruh jenis/kategori coating terhadap efisiensi dari metode anoda tumbal (SACP) maupun metode arus terpasang (ICCP).



DAFTAR PUSTAKA

1. Thethewey, Chamberlain, Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991.
2. Archie W. Culp. Jr., Phd., Prinsip – prinsip Konversi Energi, Erlangga, Jakarta, 1996.
3. Pujawan, I Nyoman, Ekonomi Teknik, Guna Widya, Surabaya, 2003.
4. Shreir L. L., Jarman R. A., Burstein G. T., Corrosion : Corrosion Control, Butterworth-Heinemann Ltd., Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, 1995.
5. Chandler K. A., Marine and Offshore Corrosion, Butterwoths, 1985.
6. Broomfield, John P., Corrosion of Steel in Concrete, E & FN Spon, London and New York, 1997.
7. Fontana, Mars G., Corrosion Engineering, McGraw Hill, 1987.
8. Schweitzer, Philip A. PE., Corrosion & Corrosion Protection Handbook, 2nd edition, 1988.
9. Bradford, Samuel A., Corrosion Control, Van Nostrand Reinhold, 1993.
10. Marcus, P., Corrosion Mechanism in Theory & Practice, Marcel Dekker, 1995.

Kapal : Tanker Palu Sipat

Biaya penggunaan anoda Zn

1 Biaya pengadaan anoda

Harga anoda/kg = 3 USD =

Rp 27.600

1 USD = Rp 9200

89 buah

1 anode =

8 kg

89 buah =

712 kg

harga 1 anoda

Rp 220.800

Biaya pengadaan anoda =

Rp 19.651.200

2 Biaya pemasangan

1 blok anoda memerlukan 0,25 JO

Harga 1 JO =

Rp 22.500

0,25 JO =

Rp 5.625

Biaya pemasangan

22,25 JO

Rp 125.156

3 Biaya pemakaian anoda

Rp 19.776.356

Angka 15 tahun memerlukan 7 kali penggantian, yang mana diasumsikan harga anoda dan biaya JO tiap 2 tahun masing - masing naik 1% dan 5%. suku bunga awal adalah 8%, dengan tingkat kenaikan 2% tiap 4 tahun. Nilai investasi selama 15 tahun adalah :

pemakaian	Nilai nominal	if	Nilai real
0	Rp 19.776.356	1	Rp 19.776.356
2	Rp 19.979.126	1,1664	Rp 23.303.653
4	Rp 20.184.174	1,3605	Rp 27.460.569
6	Rp 20.391.535	1,7716	Rp 36.125.643
8	Rp 20.601.246	2,1436	Rp 44.160.830
10	Rp 20.813.343	3,1058	Rp 64.642.082
12	Rp 21.027.866	3,896	Rp 81.924.566
14	Rp 21.244.854	4,8871	Rp 103.825.724
Future value			Rp 401.219.424

Kapal : Tanker Palu Sipat

Biaya penggunaan anoda Al

1 Biaya pengadaan anoda

Harga anoda/kg = 5 USD =	Rp	46.000
1 USD = Rp 9200		
1 anode =	8,5 kg	24 buah
24 buah =	204 kg	
harga 1 anoda	Rp	391.000
Biaya pengadaan anoda =	Rp	9.384.000

2 Biaya pemasangan

1 blok anoda memerlukan 0,25 JO		
Harga 1 JO =	Rp	22.500
0,25 JO =	Rp	5.625
Biaya pemasangan	6 JO	Rp 33.750

3 Biaya pemakaian anoda

Rp 9.417.750

Angka 15 tahun memerlukan 7 kali penggantian, yang mana diasumsikan harga anoda dan biaya JO tiap 2 tahun masing - masing naik 1% dan 5%. suku bunga awal adalah 8%, dengan tingkat kenaikan 2% tiap 4 tahun. Nilai investasi selama 15 tahun adalah :

pemakaian	Nilai nominal	if	Nilai real
0	Rp 9.417.750,00	1	Rp 9.417.750
2	Rp 9.513.277,50	1,1664	Rp 11.096.287
4	Rp 9.609.827,78	1,3605	Rp 13.074.171
6	Rp 9.707.414,43	1,7716	Rp 17.197.655
8	Rp 9.806.051,37	2,1436	Rp 21.020.252
10	Rp 9.905.752,81	3,1058	Rp 30.765.287
12	Rp 10.006.533,32	3,896	Rp 38.985.454
14	Rp 10.108.407,78	4,8871	Rp 49.400.800
Future value			Rp 190.957.655

ma Kapal : DCV

hitungan biaya penggunaan anoda Zn

1 Biaya pengadaan anoda

Harga anoda/kg = 3 USD =

Rp 27.600

1 USD = Rp 9200

155 buah

1 anode =

8 kg

155 buah =

1240 kg

Biaya pengadaan anoda =

Rp 34.224.000

2 Biaya pemasangan

1 blok anoda memerlukan 0,25 JO

Harga 1 JO =

Rp 22.500

0,25 JO =

Rp 5.625

Biaya pemasangan

38,75 JO

Rp 217.969

3 Biaya pemakaian anoda

Rp 34.441.969

lam jangka 15 tahun memerlukan 7 kali penggantian, yang mana diasumsikan
tuk harga anoda dan biaya JO tiap 2 tahun masing - masing naik 1% dan 5%.
a suku bunga awal adalah 8%, dengan tingkat kenaikan 2% tiap 4 tahun
ka nilai investasi selama 15 tahun adalah :

tahun pemakaian	Nilai nominal	if	Nilai real
0	Rp 34.441.968,75	1	Rp 34.441.969
2	Rp 34.795.107,19	1,1664	Rp 40.585.013
4	Rp 35.152.212,95	1,3605	Rp 47.824.586
6	Rp 35.513.347,50	1,7716	Rp 62.915.446
8	Rp 35.878.574,02	2,1436	Rp 76.909.311
10	Rp 36.247.957,45	3,1058	Rp 112.578.906
12	Rp 36.621.564,61	3,896	Rp 142.677.616
14	Rp 36.999.464,21	4,8871	Rp 180.820.082
Future value			Rp 556.225.776

ma Kapal : DCV

Perhitungan biaya penggunaan anoda Al

1 Biaya pengadaan anoda

Harga anoda/kg = 5 USD = Rp 46.000
 1 USD = Rp 9200
 42 buah
 1 anode = 8,5 kg
 42 buah = 357 kg

Biaya pengadaan anoda = Rp 16.422.000

2 Biaya pemasangan

1 blok anoda memerlukan 0,25 JO
 Harga 1 JO = Rp 22.500
 0,25 JO = Rp 5.625

Biaya pemasangan 10,5 JO Rp 59.063

3 Biaya pemakaian anoda

Rp 16.481.063

Dalam jangka 15 tahun memerlukan 7 kali penggantian, yang mana diasumsikan untuk harga anoda dan biaya JO tiap 2 tahun masing - masing naik 1% dan 5%. Suku bunga awal adalah 8%, dengan tingkat kenaikan 2% tiap 4 tahun maka nilai investasi selama 15 tahun adalah :

Tahun pemakaian	Nilai nominal	if	Nilai real
0	Rp 16.481.063	1	Rp 16.481.063
2	Rp 16.648.236	1,1664	Rp 19.418.502
4	Rp 16.817.199	1,3605	Rp 22.879.799
6	Rp 16.987.975	1,7716	Rp 30.095.897
8	Rp 17.160.590	2,1436	Rp 36.785.440
10	Rp 17.335.067	3,1058	Rp 53.839.252
12	Rp 17.511.433	3,896	Rp 68.224.544
14	Rp 17.689.714	4,8871	Rp 86.451.399
Future value			Rp 334.175.897

ma Kapal : OHBC

hitungan biaya penggunaan anoda Zn

1 Biaya pengadaan anoda

Harga anoda/kg = 3 USD =

Rp 27.600

1 USD = Rp 9200

286 buah

1 anode =

8 kg

286 buah =

2288 kg

Biaya pengadaan anoda =

Rp 63.148.800

2 Biaya pemasangan

↑ blok anoda memerlukan 0,25 JO

Harga 1 JO =

Rp 22.500

0,25 JO =

Rp 5.625

Biaya pemasangan

71,5 JO

Rp 402.188

3 Biaya pemakaian anoda

Rp 63.550.988

am jangka 15 tahun memerlukan 7 kali penggantian, yang mana diasumsikan
uk harga anoda dan biaya JO tiap 2 tahun masing - masing naik 1% dan 5%.
a suku bunga awal adalah 8%, dengan tingkat kenaikan 2% tiap 4 tahun
ka nilai investasi selama 15 tahun adalah :

Tahun pemakaian	Nilai nominal	if	Nilai real
0	Rp 63.550.987,50	1	Rp 63.550.988
2	Rp 64.202.584,88	1,1664	Rp 74.885.895
4	Rp 64.861.502,60	1,3605	Rp 88.244.074
6	Rp 65.527.854,09	1,7716	Rp 116.089.146
8	Rp 66.201.755,93	2,1436	Rp 141.910.084
10	Rp 66.883.327,94	3,1058	Rp 207.726.240
12	Rp 67.572.693,40	3,896	Rp 263.263.213
14	Rp 68.269.979,12	4,8871	Rp 333.642.215
Future value			Rp 1.289.311.855

ma Kapal : OHBC

hitungan biaya penggunaan anoda Al

1 Biaya pengadaan anoda

Harga anoda/kg = 5 USD = Rp 46.000

1 USD = Rp 9200

1 anode = 8,5 kg 78 buah

78 buah = 663 kg

Biaya pengadaan anoda = Rp 30.498.000

2 Biaya pemasangan

1 blok anoda memerlukan 0,25 JO

Harga 1 JO = Rp 22.500

0,25 JO = Rp 5.625

Biaya pemasangan 19,5 JO Rp 109.688

3 Biaya pemakaian anoda

Rp 30.607.688

lam jangka 15 tahun memerlukan 7 kali penggantian, yang mana diasumsikan
tuk harga anoda dan biaya JO tiap 2 tahun masing - masing naik 1% dan 5%.
a suku bunga awal adalah 8%, dengan tingkat kenaikan 2% tiap 4 tahun
ka nilai investasi selama 15 tahun adalah :

Tahun pemakaian	Nilai nominal	if	Nilai real
0	Rp 30.607.687,50	1	Rp 30.607.688
2	Rp 30.918.151,88	1,1664	Rp 36.062.932
4	Rp 31.231.940,27	1,3605	Rp 42.491.055
6	Rp 31.549.096,89	1,7716	Rp 55.892.380
8	Rp 31.869.666,94	2,1436	Rp 68.315.818
10	Rp 32.193.696,64	3,1058	Rp 99.987.183
12	Rp 32.521.233,29	3,896	Rp 126.702.725
14	Rp 32.852.325,30	4,8871	Rp 160.552.599
Future value			Rp 620.612.380

BIAYA OPERASI METODE ICCP

Selama kurun waktu 15 tahun pemakaiannya, metode ini hanya membutuhkan biaya operasi yang berhubungan dengan bahan bakar. Biaya operasi untuk metode ICCP adalah :

❖ Kapa Palu Sipat (6500 DWT)

- Untuk metode ICCP dalam operasinya membutuhkan 0,95 kwh sehingga dalam satu tahun membutuhkan $8760 \times 0,95 = 8322$ kwh.
- Jika 1 kwh membutuhkan 0,1101 liter maka untuk satu tahun membutuhkan $0,1101 \times 8322 = 916,2522$ liter
- Jika 1 liter solar Rp 1.650,- [Pertamina] maka biaya operasi dalam satu tahun membutuhkan $916,2522 \times \text{Rp } 1.650,- = \text{Rp } 1.512.000,-$
- Dalam biaya operasi terkait pula biaya untuk maintenance atau perbaikan – perbaikan, yang diasumsikan sebesar 3 % dari biaya pemakaian system ini. Besarnya biaya maintenance untuk system ICCP sebesar : $0,03 \times \text{Rp } 277.890.000,- = \text{Rp } 8.336.700,-$
- Sehingga total biaya operasi sebesar :
 $\text{Rp } 1.512.000,- + \text{Rp } 8.336.700,- = \text{Rp } 9.848.700,-$

Tahun pemakaian	Nilai nominal	if	Nilai real
0	9.848.700	1,0000	9.848.700
1	9.848.700	1,0800	10.636.596
2	9.848.700	1,1664	11.487.523,7
3	9.848.700	1,2597	12.406.407,4
4	9.848.700	1,3605	13.399.156,4
5	9.848.700	1,6105	15.861.331,4
6	9.848.700	1,7716	17.447.956,9
7	9.848.700	1,9487	19.192.161,7
8	9.848.700	2,1436	21.111.673,3
9	9.848.700	2,7731	27.311.430
10	9.848.700	3,1058	30.588.092,5
11	9.848.700	3,4785	34.258.703
12	9.848.700	3,8960	38.370.535,2
13	9.848.700	4,3635	42.974.802,5
14	9.848.700	4,8871	48.131.581,8
Future value			353.026.652

$$F = \text{Rp } 277.890.000 (F/P, 1\%, 15)$$

$$= \text{Rp } 277.890.000 (1,4134)$$

$$= \text{Rp } 392.769.726,-$$

$$\text{Biaya penggunaan} = \text{Rp } 392.769.726,- + \text{Rp } 353.026.652,-$$

$$= \text{Rp } 745.796.378,-$$

❖ Kapal DCV (18500 DWT)

- Untuk metode ICCP dalam operasinya membutuhkan 1,64 kwh sehingga dalam satu tahun membutuhkan $8760 \times 1,64 = 14366,4$ kwh.
- Jika 1 kwh membutuhkan 0,1101 liter maka untuk satu tahun membutuhkan $0,1101 \times 14366,4 = 1581,74064$ liter
- Jika 1 liter solar Rp 1.650,- [Pertamina] maka biaya operasi dalam satu tahun membutuhkan $1581,74064 \times \text{Rp } 1.650,- = \text{Rp } 2.610.000,-$

- o Dalam biaya operasi terkait pula biaya untuk maintenance atau perbaikan – perbaikan, yang diasumsikan sebesar 3 % dari biaya pemakaian system ini.
Besarnya biaya maintenance untuk system ICCP sebesar : $0,03 \times \text{Rp } 277.890.000,- = \text{Rp } 8.336.700,-$
- o Sehingga total biaya operasi sebesar :
 $\text{Rp } 2.610.000,- + \text{Rp } 8.336.700,- = \text{Rp } 10.946.700,-$

Tahun pemakaian	Nilai nominal	if	Nilai real
0	10.946.700	1,0000	10.946.700
1	10.946.700	1,0800	11.822.436
2	10.946.700	1,1664	12.768.230,9
3	10.946.700	1,2597	13.789.558
4	10.946.700	1,3605	14.892.985,4
5	10.946.700	1,6105	17.629.660,4
6	10.946.700	1,7716	19.393.173,7
7	10.946.700	1,9487	21.331.834,3
8	10.946.700	2,1436	23.465.346,1
9	10.946.700	2,7731	30.356.293,8
10	10.946.700	3,1058	33.998.260,9
11	10.946.700	3,4785	38.078.096
12	10.946.700	3,8960	42.648.343,2
13	10.946.700	4,3635	47.765.925,5
14	10.946.700	4,8871	53.497.617,6
Future value			392.384.462

$$F = \text{Rp } 277.890.000 (F/P, 1\%, 15)$$

$$= \text{Rp } 277.890.000 (1,4134)$$

$$= \text{Rp } 392.769.726,-$$

$$\text{Biaya penggunaan} = \text{Rp } 392.769.726,- + \text{Rp } 392.384.462,-$$

$$= \text{Rp } 785.154.188,-$$

❖ Kapal OHBC (45000 DWT)

- Untuk metode ICCP dalam operasinya membutuhkan 3,033 kwh sehingga dalam satu tahun membutuhkan $8760 \times 3,033 = 26569,08$ kwh.
- Jika 1 kwh membutuhkan 0,1101 liter maka untuk satu tahun membutuhkan $0,1101 \times 26569,08 = 2925,256$ liter
- Jika 1 liter solar Rp 1.650,- [Pertamina] maka biaya operasi dalam satu tahun membutuhkan $2925,256 \times \text{Rp } 1.650,- = \text{Rp } 4.827.000,-$
- Dalam biaya operasi terkait pula biaya untuk maintenance atau perbaikan – perbaikan, yang diasumsikan sebesar 1 % dari biaya pemakaian system ini. Besarnya biaya maintenance untuk system ICCP sebesar : $0,03 \times \text{Rp } 277.890.000,- = \text{Rp } 8.336.700,-$
- Sehingga total biaya operasi sebesar :
 $\text{Rp } 4.827.000,- + \text{Rp } 8.336.700,- = \text{Rp } 13.163.700,-$

Tahun pemakaian	Nilai nominal	if	Nilai real
0	13.163.700	1,0000	13.163.700
1	13.163.700	1,0800	14.216.796
2	13.163.700	1,1664	15.354.139,7
3	13.163.700	1,2597	16.582.312,9
4	13.163.700	1,3605	17.909.213,9
5	13.163.700	1,6105	21.200.138,9
6	13.163.700	1,7716	23.320.810,9
7	13.163.700	1,9487	25.652.102,2
8	13.163.700	2,1436	28.217.707,3
9	13.163.700	2,7731	36.504.256,5
10	13.163.700	3,1058	40.883.819,5
11	13.163.700	3,4785	45.789.930,5
12	13.163.700	3,8960	51.285.775,2
13	13.163.700	4,3635	57.439.805
14	13.163.700	4,8871	64.332.318,3
	Future value		471.852.827

$$F = \text{Rp } 277.890.000 (F/P, 1\%, 15)$$

$$= \text{Rp } 277.890.000 (1,4134)$$

$$= \text{Rp } 392.769.726,-$$

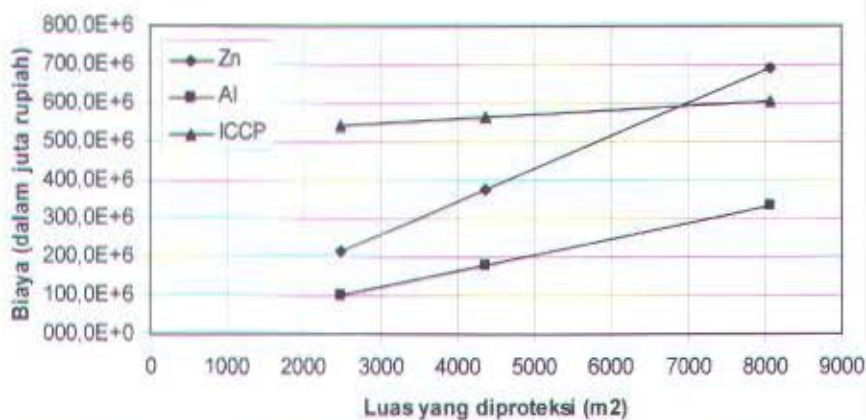
$$\text{Biaya penggunaan} = \text{Rp } 392.769.726,- + \text{Rp } 471.852.827,-$$

$$= \text{Rp } 864.622.552,-$$

PERBANDINGAN BIAYA PROTEKSI KATODIK

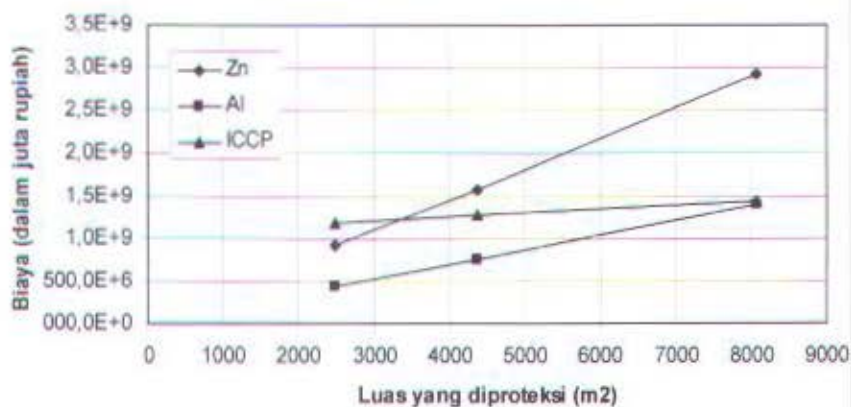
10 tahun			Zn		Al		ICCP
Palu Sipat	2476,4	Rp	215.469.133	Rp	102.571.402	Rp	539.265.695
DCV	4360,45	Rp	375.255.231	Rp	179.499.953	Rp	560.369.145
OHBC	8078,48	Rp	692.406.427	Rp	333.357.056	Rp	602.979.664

Perbandingan Biaya Proteksi Katodik (10 tahun)

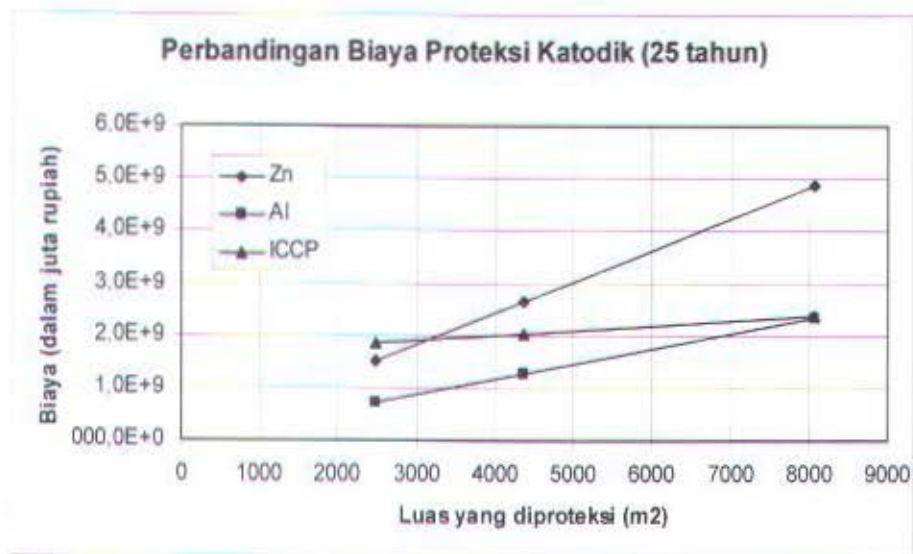


20 tahun			Zn		Al		ICCP
Palu Sipat	2476,4	Rp	910.873.845	Rp	433.377.301	Rp	1.183.168.281
DCV	4360,45	Rp	1.586.353.326	Rp	758.410.277	Rp	1.271.287.282
OHBC	8078,48	Rp	2.927.077.750	Rp	1.408.476.228	Rp	1.449.210.622

Perbandingan Biaya Proteksi Katodik (20 tahun)



25 tahun			Zn		Al		ICCP
Palu Sipat	2476,4	Rp	1.518.272.058	Rp	722.179.451	Rp	1.859.134.790
DCV	4360,45	Rp	2.644.181.674	Rp	1.263.614.039	Rp	2.022.615.132
OHBC	8078,48	Rp	4.878.941.669	Rp	2.347.083.215	Rp	2.352.702.488



Note :

SAP Zinc Alloy

SAP Zinc Alloy anodes are cast from the highest purity virgin metals. Specifications complies with U.S. Mil. Spec 18001-J and ASTM Spec No. B-418-73. Other alloys are available on request.

Capacity	: 782 Ah/kg
Efficiency	: 95%
Consumption Rate	: 11.20 kg/A-years
Closed Circuit Potential	: -1.050 volt (vs Ag/AgCl ref. cell)
Driving Potential	: 0.25 volt vs polarised steel
S.G.	: 7.1 g/cm ³
Application	: sea water tank, ship hull, tank ground.

SAP Aluminium Alloy





SAP Aluminium Alloy anodes are cast from the highest purity virgin metals. Specification available to customer requirements on Indium or other activated alloys.

Capacity	: 2700 Ah/kg
Efficiency	: more than 90%
Consumption Rate	: 3.24 kg/A-years
Closed Circuit Potential	: -1.1 volt (vs Ag/AgCl ref. cell)
Driving Potential	: 0.3 volt vs polarised steel
S.G.	: 2.7 g/cm ³
Application	: port facilities, ship hull, offshore structures and intake facilities.




Anodes configurations shown are subject to change without prior notice.

ANODE DATA SHEET

SAP ZINC ANODE FOR SHIP HULL.

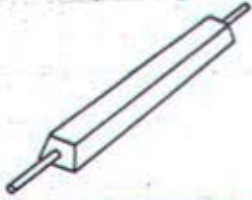
Type	Dimension LxWxH (mm)	Weight (Kg)	Core	Shape
Zn-3.0 Zn-4.0 Zn-5.5	200x100x20 200x100x30 200x100x38	3.0 4.0 5.5	1 Strap 6x40x300	
Zn-6.0 Zn-8.0 Zn-8.5 Zn-11	300x150x20 300x150x25 300x150x27 300x150x35	6.0 8.0 8.5 11.0	2 Straps 6x40x280	
Zn-20	500x125x50	20.0	2 Straps 6x40x250	
K-3.0 K-4.0 K-6.0 K-8.0	200x100x20 200x100x30 300x150x20 300x150x25	3.0 4.0 6.0 8.0	Bolt type	

SAP ALUMINIUM ANODE FOR SHIP HULL

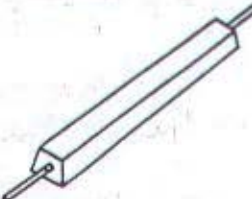
Type	Dimension LxWxH (mm)	Weight (Kg)	Core	Shape
Al-3.8 Al-5.0 Al-5 B	300x150x38 300x150x45 356x114x57	3.8 5.0 5.5	6x40x440 6x40x440 6x40x440 with hole	
Al-8.5	500x125x50	8.5	2 Straps 6x40x250	
Al-11 Al-14	600x140x45 610x150x56	11.0 14.0	6x40x770 6x40x830	

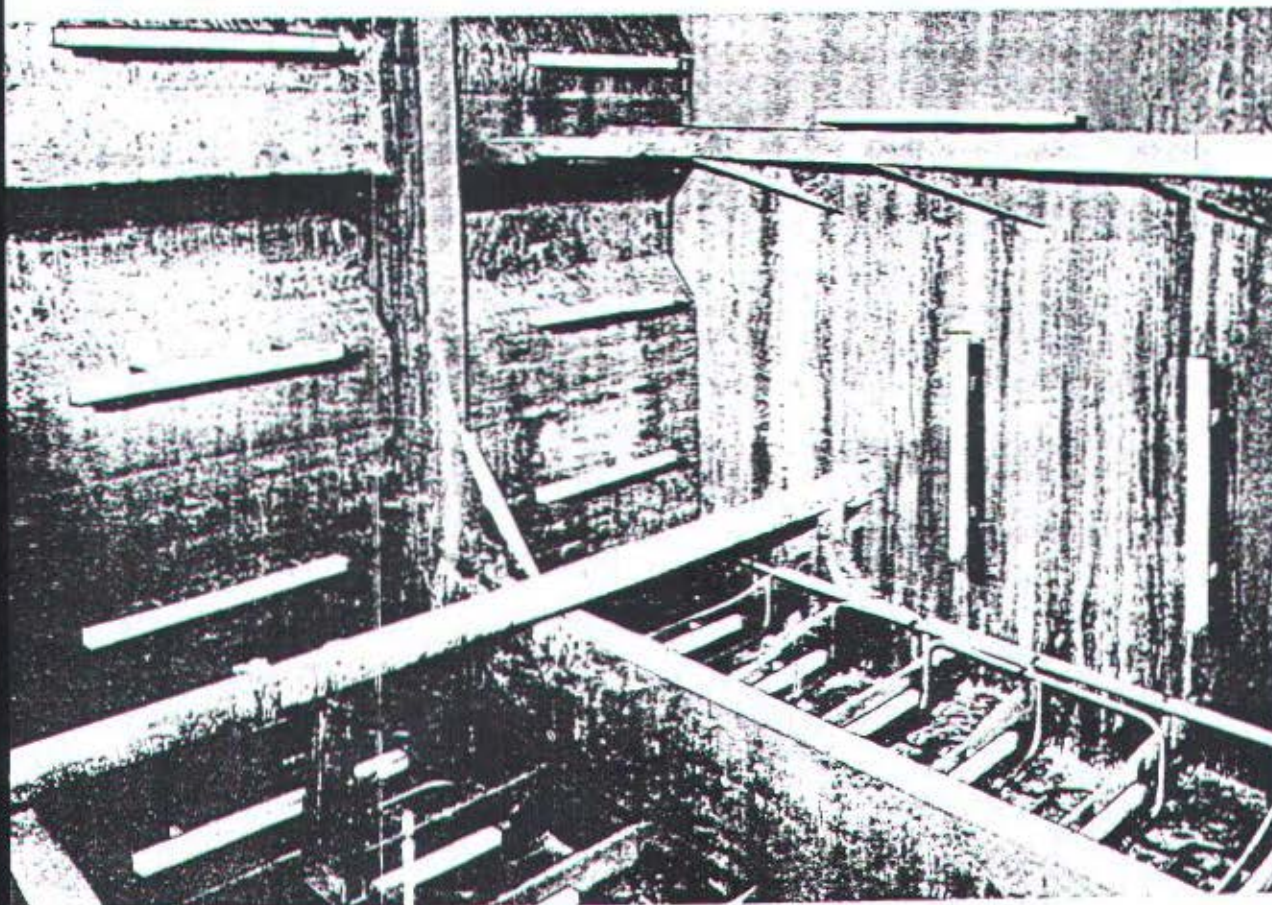
SEA WATER TANK/BALLAST TANK ANODE

INC ANODE

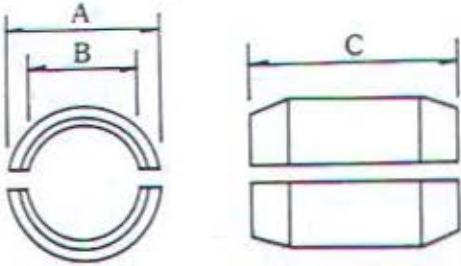
Type	Dimension WxHxL (mm)	Weight (Kg)	Core Dia x Lc	Shape
BBO-Z18.9	61x65x 655	18.9	11x1.155	
BBO-Z29.4	61x65x1.030	29.4	11x1.530	
BBO-Z39.9	61x65x1.400	39.9	11x1.900	
BBO-Z51.2	61x65x1.800	51.2	11x2.300	

LUMINIUM ANODE

Type	Dimension WxHxL (mm)	Weight (Kg)	Core Dia x Lc	Shape
BBO-A 7.8	61x65x 655	7.8	11x1.155	
BBO-A12.0	61x65x1.030	12.0	11x1.530	
BBO-A16.2	61x65x1.400	16.2	11x1.900	
BBO-A20.7	61x65x1.800	20.7	11x2.300	



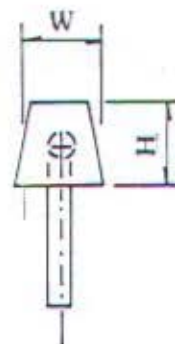
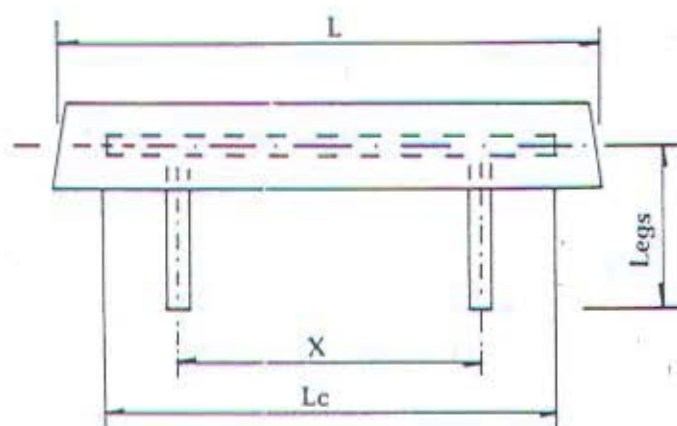
BRACELET ALUMINIUM ANODE – HALF SHELL TYPE

Type	Dimension (mm)			Weight (Kg)	Shape
	A	B	C		
BR2-A30	320	220	304	30.00	
BR2-A35	324	222	394	35.00	
BR2-A45	378	276	394	45.00	
BR2-A50	428	327	394	50.00	
BR2-A70	425	325	500	70.00	
BR2-A95	717	613	406	95.00	
BR2-A170	748	622	525	170.00	

ALUMINIUM OFFSHORE ANODE

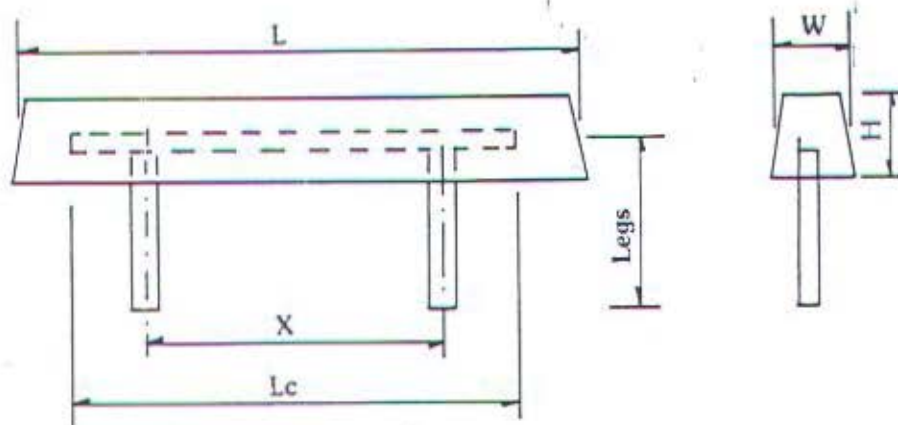
ALUMINIUM ANODE – SPP TYPE

No.	Type	Weight (Kg)	Dimension (WxHxL) mm	Core Dimension		Schedule	Legs (mm)
				Lc (mm)	X (mm)		
1	SPP-A172	172.37	178x190x1.845	1,595	1,345	2.0" schedule 80 pipe	285.00
2	SPP-A202	202.24	178x190x2.170	1,865	1,615	2.0" schedule 80 pipe	285.00
3	SPP-A233	232.55	178x190x2.500	2,195	1,890	2.0" schedule 80 pipe	285.00
4	SPP-A254	253.70	150x276x1.325	1,075	825	2.0" schedule 80 pipe	414.00
5	SPP-A304	303.60	150x276x1.590	1,340	1,090	2.0" schedule 80 pipe	414.00
6	SPP-A406	405.76	250x276x2.120	1,815	1,565	2.5" schedule 80 pipe	414.00
7	SPP-A456	455.64	250x276x2.385	2,080	1,775	2.5" schedule 80 pipe	414.00
8	SPP-A506	505.52	250x276x2.650	2,345	2,040	2.5" schedule 80 pipe	414.00
9	SPP-A534	533.75	250x276x2.800	2,495	2,190	2.5" schedule 80 pipe	414.00
10	SPP-A605	605.33	349x349x1.800	1,550	1,300	4.0" schedule 80 pipe	523.50
11	SPP-A654	654.45	349x349x1.950	1,700	1,450	4.0" schedule 80 pipe	523.50
12	SPP-A704	703.88	349x349x2.100	1,795	1,490	4.0" schedule 80 pipe	523.50



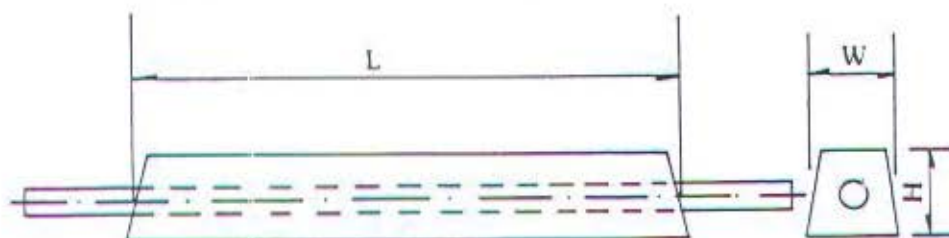
ALUMINIUM ANODE – SLP TYPE

No.	Type	Weight (Kg)	Dimension (WxHxL) mm	Core Dimension		Schedule	Legs (mm)
				Lc (mm)	X (mm)		
	SLP-A179	178.80	178x190x1,845	1,595	1,345	2.0" schedule 80 pipe	285.00
	SLP-A210	209.77	178x190x2,170	1,865	1,615	2.0" schedule 80 pipe	285.00
	SLP-A241	241.42	178x190x2,500	2,195	1,890	2.0" schedule 80 pipe	285.00
	SLP-A258	258.01	250x276x1,325	1,075	825	2.0" schedule 80 pipe	414.00
	SLP-A309	308.99	250x276x1,590	1,340	1,090	2.0" schedule 80 pipe	414.00
	SLP-A415	414.87	250x276x2,120	1,815	1,565	2.5" schedule 80 pipe	414.00
	SLP-A466	466.10	250x276x2,385	2,080	1,775	2.5" schedule 80 pipe	414.00
	SLP-A517	517.32	250x276x2,650	2,345	2,040	2.5" schedule 80 pipe	414.00
	SLP-A546	546.32	250x276x2,800	2,495	2,190	2.5" schedule 80 pipe	414.00
	SLP-A628	628.43	349x349x1,800	1,550	1,300	4.0" schedule 80 pipe	523.50
	SLP-A680	679.80	349x349x1,950	1,700	1,450	4.0" schedule 80 pipe	523.50
	SLP-A731	730.66	349x349x2,100	1,795	1,490	4.0" schedule 80 pipe	523.50



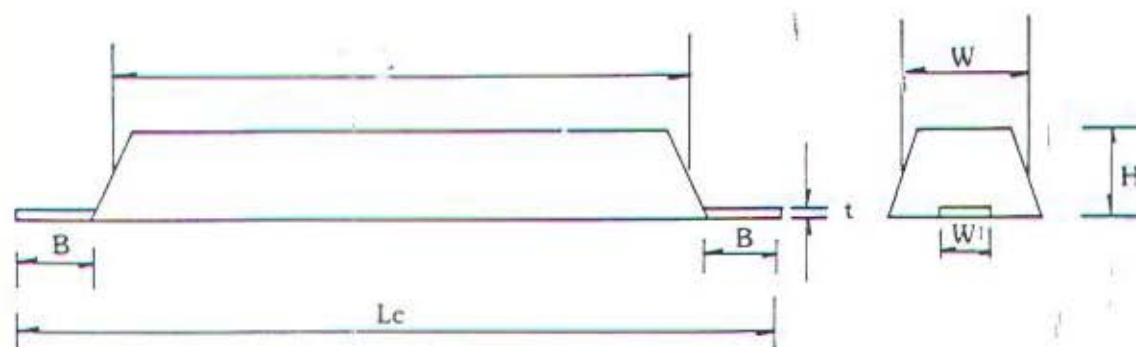
ALUMINIUM ANODE – SPC TYPE

No.	Type	Weight (Kg)	Dimension (WxHxL) mm	Schedule Dimension
	SPC-A175	174.66	178x190x1,845	2.0" schedule 80 pipe
	SPC-A205	204.50	178x190x2,170	2.0" schedule 80 pipe
	SPC-A235	234.81	178x190x2,500	2.0" schedule 80 pipe
	SPC-A255	254.74	250x276x1,325	2.0" schedule 80 pipe
	SPC-A305	304.64	250x276x1,590	2.0" schedule 80 pipe
	SPC-A407	407.40	250x276x2,120	2.5" schedule 80 pipe
	SPC-A457	457.28	250x276x2,385	2.5" schedule 80 pipe
	SPC-A507	507.16	250x276x2,650	2.5" schedule 80 pipe
	SPC-A535	535.39	250x276x2,800	2.5" schedule 80 pipe
	SPC-A605	605.11	349x349x1,800	4.0" schedule 80 pipe
	SPC-A654	654.23	349x349x1,950	4.0" schedule 80 pipe
	SPC-A703	703.35	349x349x2,100	4.0" schedule 80 pipe



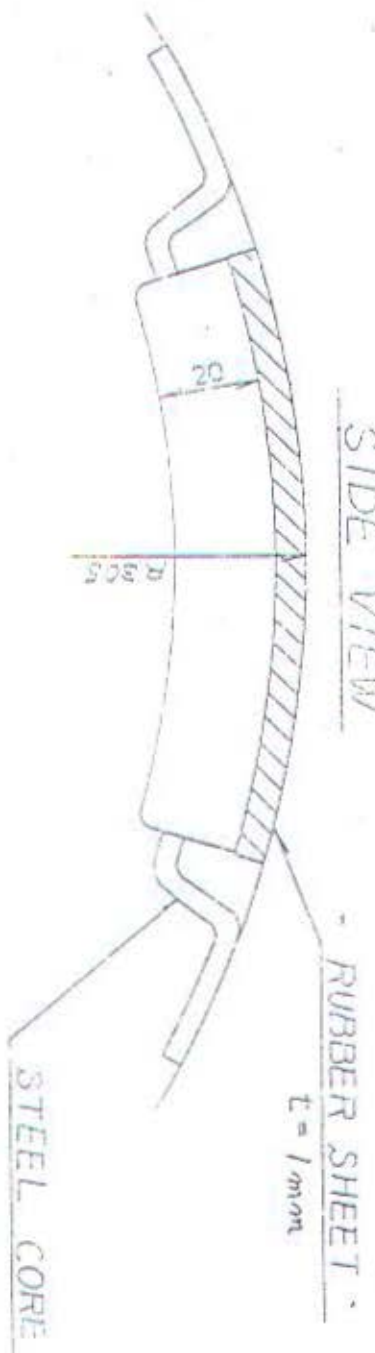
ALUMINIUM ANODE – FLUSH MOUNTED (FFF) TYPE

No.	Type	Weight (Kg)	Dimension (WxHxL) mm	Core Dimension		
				Lc (mm)	W' (mm)	t (mm)
	FFF-A48	48.20	178x190x 490	890	65	10
	FFF-A53	52.92	178x190x 540	940	65	10
	FFF-A84	84.03	178x190x 870	1,270	65	10
	FFF-A115	114.68	178x190x1,195	1,595	65	10
	FFF-A145	145.32	178x190x1,520	1,920	65	10
	FFF-A176	175.97	178x190x1,845	2,245	65	10
	FFF-A207	206.62	178x190x2,170	2,570	65	10
	FFF-A238	237.73	178x190x2,500	2,900	65	10



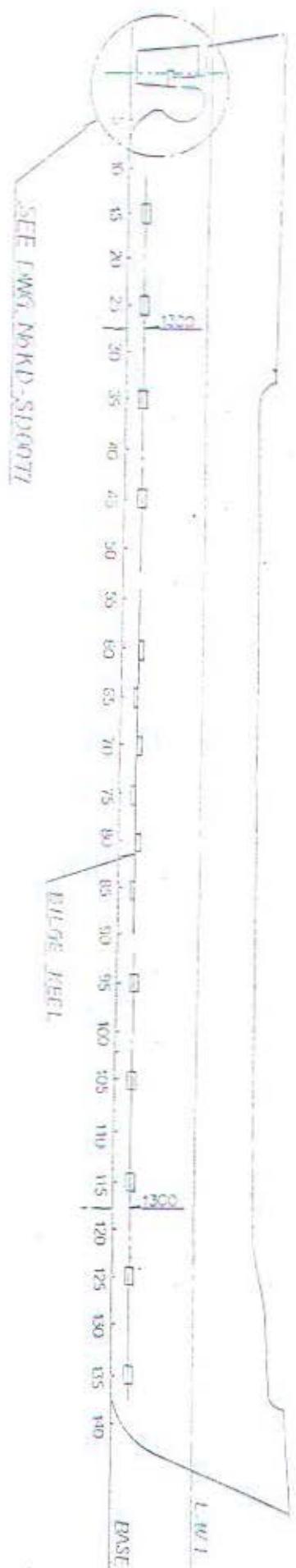


SIDE VIEW



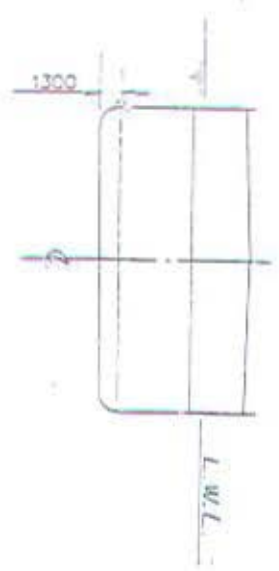
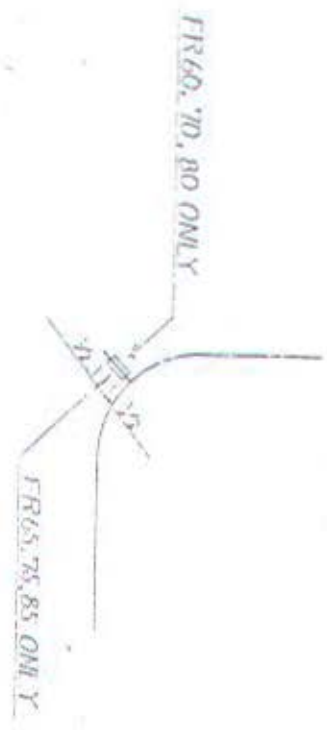
承認者	承認者	比例尺	図名
承認者	承認者	1 : 15	ZAP SP-1
承認者	承認者	1 : 15	ZAP SP-1

SECTION 11-1000

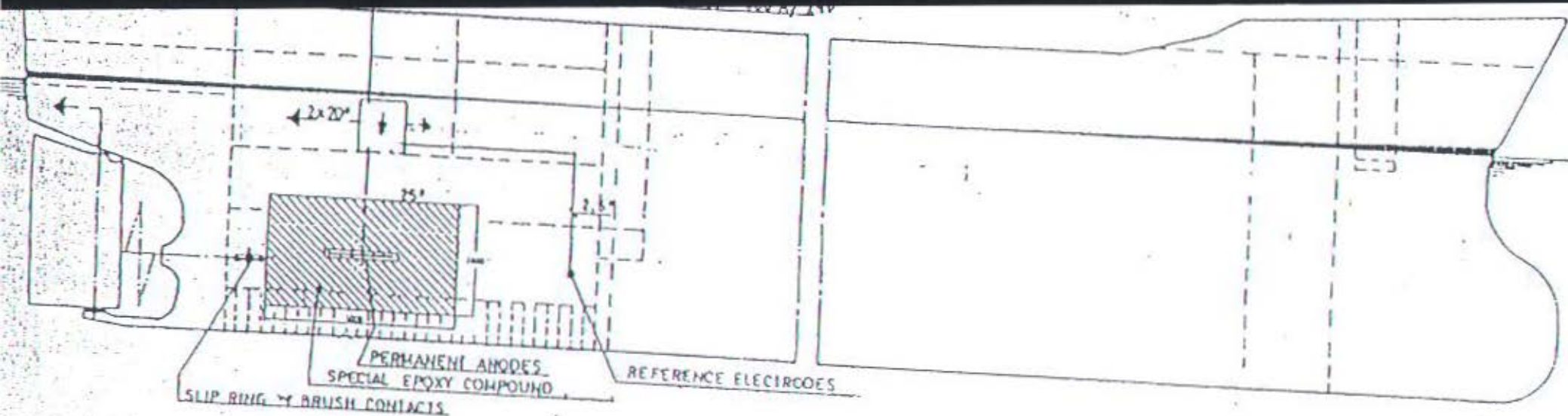


FR60~FR85 SEC

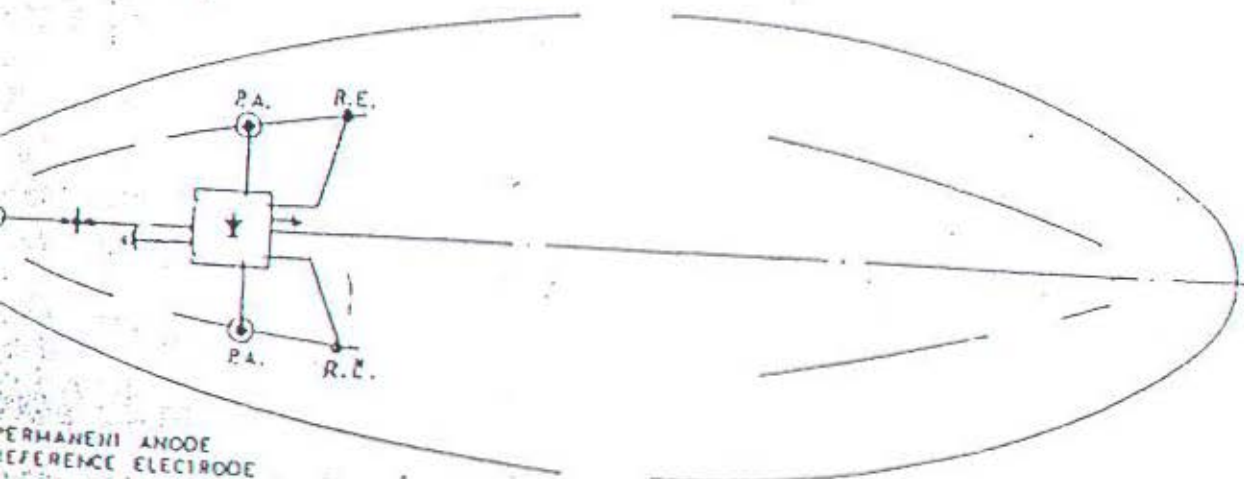
FR105 SEC



FILE NAME	FILE DATE	FILE TITLE
3650 DWT SEH1-CONTAINER		CARAWA, J.A. NIAGA & 2 ND P



HATCHED AREA TO BE SANDBLASTED AND PAINTED
WITH TAR EPOXY OR EQUAL PAINT.
MIN. THICKNESS 300 μ .
DIAMETER OF THIS AREA = 7 M.



PERMANENT ANODE
REFERENCE ELECTRODE

APPLICATION OF EPOXY COMPOUND

FIRST COAT OF EPOXY COMPOUND TO BE APPLIED WITH ROLL / SPATULA
IMMEDIATELY AFTER SANDBLASTING. FILM THICKNESS 100 μ
SECOND COAT OF EPOXY COMPOUND TO BE APPLIED WHEN
FIRST COAT IS LACKFREE 16-17 HOURS!
THICKNESS ABOUT 100 μ

CABLING IN TANKS:

CABLE PIPES MIN. THICKNESS 10 MM IF BLACK & IF GALVANIZED
CABLE PIPES TO BE SANDFILLED

IF NECESSARY THE ANODES MIGHT BE ADJUSTED DUE TO
REMAINDER INSTALLATION IN ENGINE ROOM

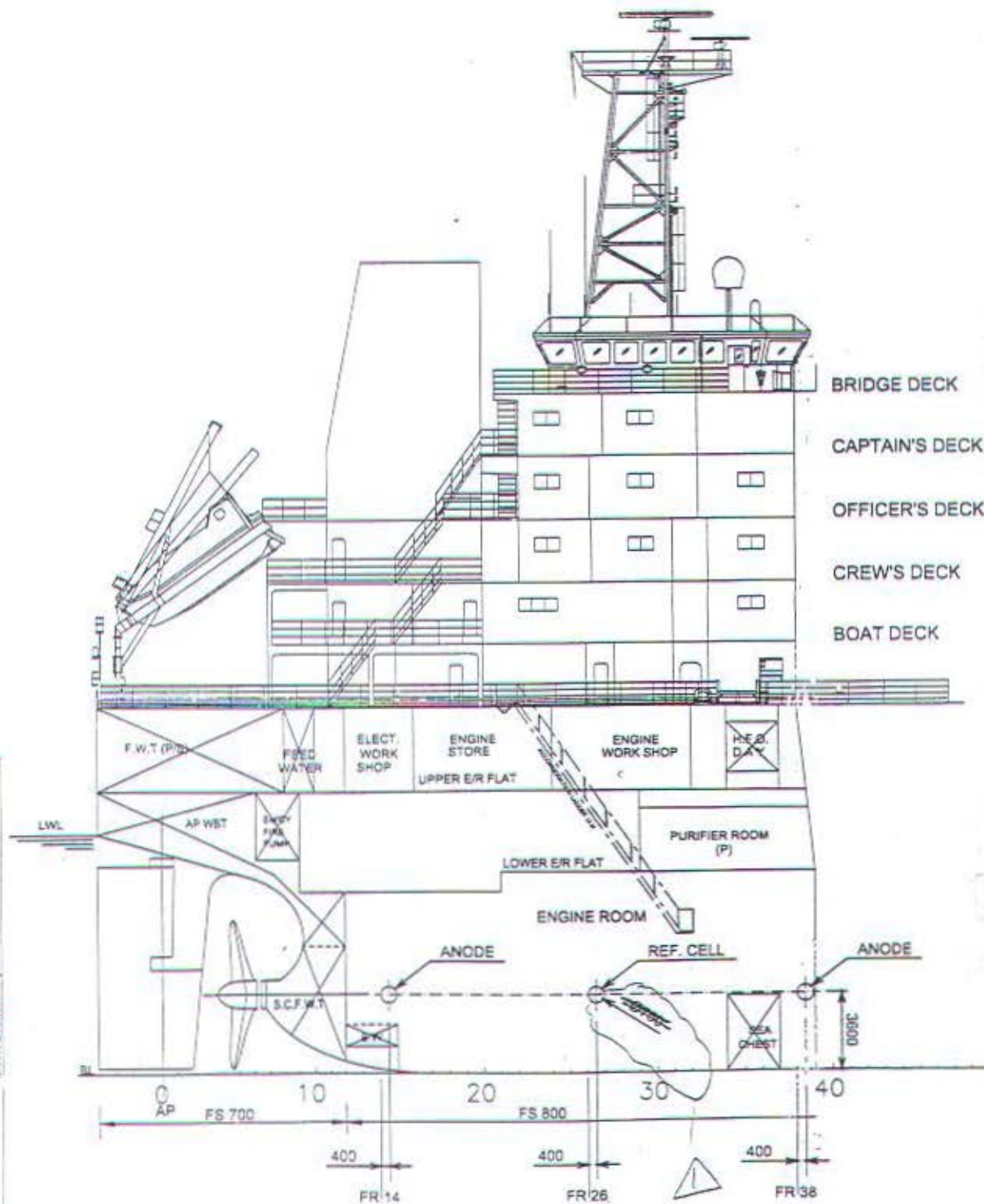


Jotun Cathodic Protection a.s.

(Skarpenord Corrosion)

Langesund/Horwig

TEL (02) 97 27 00



NOTE:
STEEL HULL OPENING
SEE "INSTALLATION
MANUAL" PAGE 21
2/26.

DRAWING NAME:

PROJECT NO.:

Table 6.3.2 Average (maintenance) design current densities as a function of depth and climatic region (see Table 6.3.3)

Depth (m)	Design Current Densities (Average) in A/m ²			
	Tropical (>20°C)	Sub-Tropical (13-20°C)	Temperate (7-12°C)	Arctic (<7°C)
0 - 30	0.070	0.080	0.100	0.120 ¹⁾
> 30	0.060 ✓	0.070	0.080	0.100

¹⁾ Effects of any ice scouring are not included.

6.3.10 It is becoming increasingly recognized that cathodic protection of concrete reinforcing steel is necessary to ensure long-term integrity of submerged concrete structures. However, even in cases where corrosion protection of reinforcement is not considered necessary, any anodes dedicated to the corrosion protection of components mounted on/embedded in the external concrete surfaces must also be designed to account for current drain from the cathodic protection system to the reinforcement.

6.3.11 The cathodic current density of steel embedded in concrete is mainly controlled by the reduction of oxygen. This is transported by capillary action of pore water driven by evaporation in the atmospheric zone and in internal dry compartments. The cathodic current density will therefore be dependent on depth and climatic conditions.

6.3.12 Table 6.3.3 gives design current densities applicable as both initial/final and average design values. It should be noted that they refer to the total surface area of concrete reinforcing steel, not to the surface area of concrete.

Table 6.3.3 Design current densities (initial/final and average) for concrete reinforcing steel

Elevation (m)	Design Current Densities in A/m ²			
	Tropical (>20°C)	Sub-tropical (13-20°C)	Temperate (7-12°C)	Arctic (<7°C)
+5 to +10	0.0030	0.0025	0.0015	0.0010
< -10	0.0020	0.0015	0.0010	0.0005

6.3.13 For light weight aggregate concrete or other concrete grades with equivalent pore structure, the design current densities in Table 6.3.3 can be reduced by 40%.

6.3.14 When the actual reinforcing steel surface area (m²) to reinforced concrete volume (m³) ratio is less than 5, an adjustment factor 5/B may be applied to the design current densities in Table 6.3.3.

6.3.15 For reinforcing steel coated with fusion bonded epoxy or equivalent (min 200 µm DFT), see graph 6.A.10.

6.3.16 For surfaces with a thermally sprayed aluminium coating (200 μm nominal thickness) a value of 0.10 A/m^2 is to be applied as average design current density. This value is applicable to all conditions covered by Table 6.3.2. As the free corrosion potential of thermal sprayed aluminium is more negative than -0.80 V rel. Ag/AgCl/seawater, initial/final design current densities as defined in paragraphs 6.3.1 to 6.3.4 all not apply.

6.3.17 For internally heated components with an external thermally sprayed aluminium coating, the design current density shall be increased by 0.0002 A/m^2 for each $^{\circ}\text{C}$ that the metal/seawater interface is assumed to exceed 25°C (compare Paragraph 6.3.6).

6 COATING BREAKDOWN FACTOR AND PAINT COATINGS

6.1 The coating breakdown factor (f_c) describes the anticipated reduction in cathodic current density due to the application of an electrically insulating coating. $f_c = 0$ means that the coating is 100% electrically insulating, thus decreasing the cathodic current density to zero. $f_c = 1$ implies that the coating has no protective properties, i.e. the cathodic current density of an initially coated surface is the same as for a bare metal surface.

6.2 It should be noted that the coating breakdown factor should not be confused with coating degradation apparent by visual examination. A coating showing extensive blistering may still retain high electrically insulating properties. Conversely, an apparently perfect coated surface may allow a significant passage of current.

6.3 The coating breakdown factor is a function of coating properties, operational parameters and time. Coating properties are dependent on coating materials, surface preparation and the coating application.

The coating breakdown factor (f_c) can be described as

$$f_c = k_1 + k_2 \cdot t$$

where t is the coating life time in years, k_1 and k_2 are constants that are dependent on the coating properties.

6.4 For practical reasons, four paint coating categories have been defined to facilitate correlation of the coating breakdown factor to coating properties:

- | | |
|--------------|---|
| Category I | : One layer of primer coat, about 50 μm nominal DFT (Dry Film Thickness) |
| Category II | : One layer of primer coat, plus <i>minimum</i> one layer of intermediate top coat, 150 to 250 μm nominal DFT |
| Category III | : One layer of primer coat, plus <i>minimum</i> two layers of intermediate/top coats, minimum 300 μm nominal DFT |
| Category IV | : One layer of primer coat, plus <i>minimum</i> three layers of intermediate top coats, minimum 450 μm nominal DFT |

The constants k_1 and k_2 used for calculating the coating break-down factors are given in Table 6.4.1.

In Figs. 6.4.1 to 6.4.4 coating break-down factors are presented as a function of time in a graphical form.

6.4.5 It is assumed that coating damage is mainly dependent on marine growth (incl. cleaning operations to remove such growth) and the erosional effects of waves and currents, all of which are related to depth. For simplicity, the effect of seawater temperature has been excluded.

6.4.6 It has further been assumed that the applied coating system is suitable for submerged marine applications, that all coating work has been carried out in accordance with the coating manufacturer's recommendations, and that surface preparation has included blast cleaning to minimum SA 2.5 in accordance with ISO 8501-1.

For coatings applied without blast cleaning (incl. machined, ground and cold-rolled surfaces), a coating break-down factor $f_c = 1$ shall be applied in calculations of average and final current demands, while the initial demand shall be calculated as for Category 1.

6.4.7 Documented long-term experience of subsea paint coating systems is scarce, hence the coating breakdown factors given in Paragraph 6.4.3 below are estimated on a conservative basis. It is appreciated that the definitions of Coating Categories according to Paragraph 6.4.4 do not account for either the generic type of coating or more complex paint coating systems. Operator's experience of a specific paint coating system may justify the use of less conservative coating break-down factors than specified in this document.

6.4.8 For cathodic protection design purposes the average and final coating breakdown factors are to be calculated by introducing the design life (t_d):

$$f_c \text{ (average)} = k_1 + k_2 \cdot \frac{t_d}{2}$$

$$f_c \text{ (final)} = k_1 + k_2 \cdot t_d$$

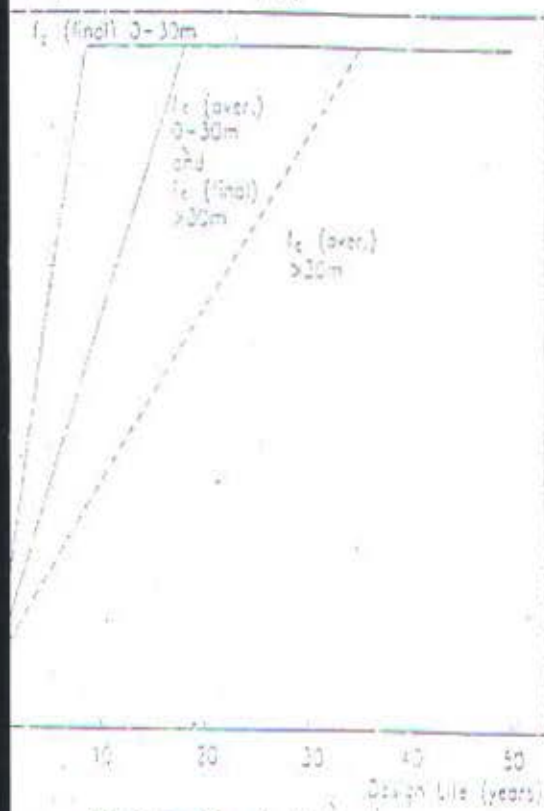
If the calculated value exceeds 1, $f_c = 1$ shall be applied in the design.

It is appreciated that the linear equations above are intended for the purpose of design only, and are not intended to reflect the true mode of coating breakdown.

When the design life of the cathodic protection system exceeds that of the coating system, f_c (average) may be calculated as:

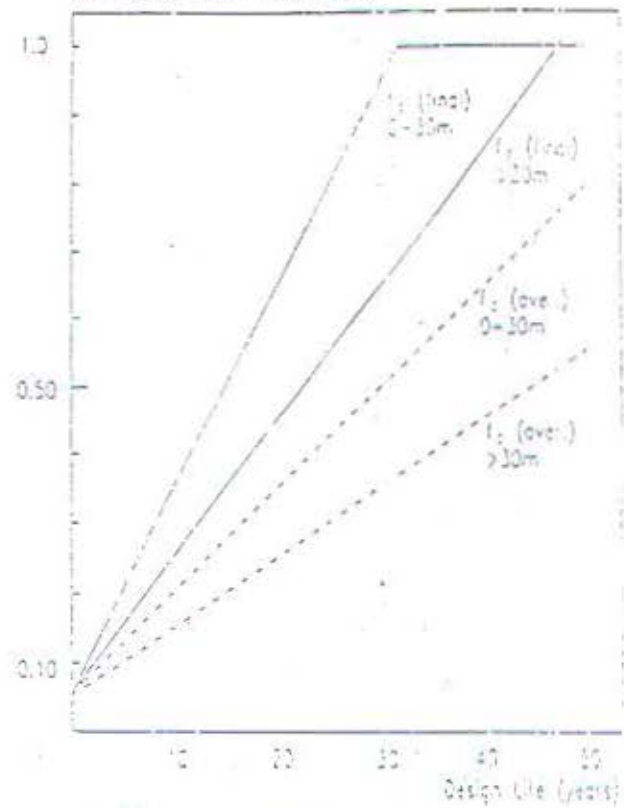
$$f_{c, \text{ (av.)}} = 1 - \frac{(1 - k_1)^2}{2k_2 t_d}$$

Coating Breakdown Factor (f_c)



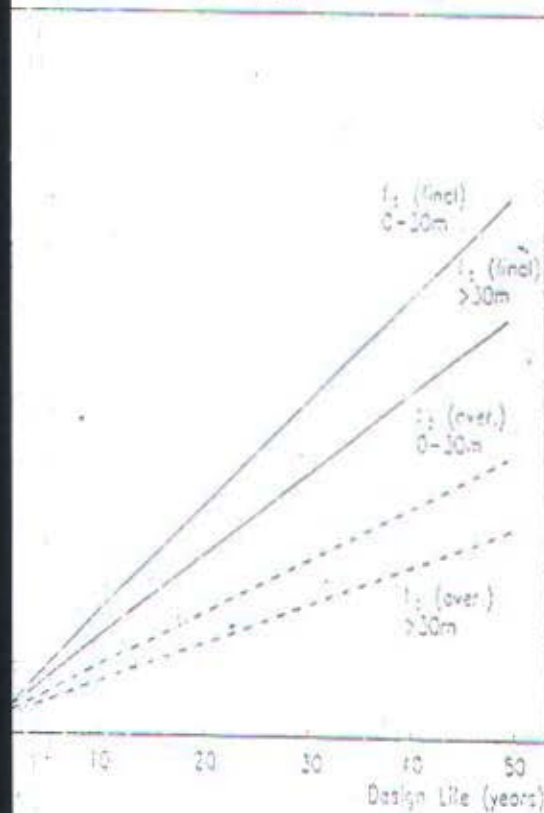
Coating Category I

Coating Breakdown Factor (f_c)



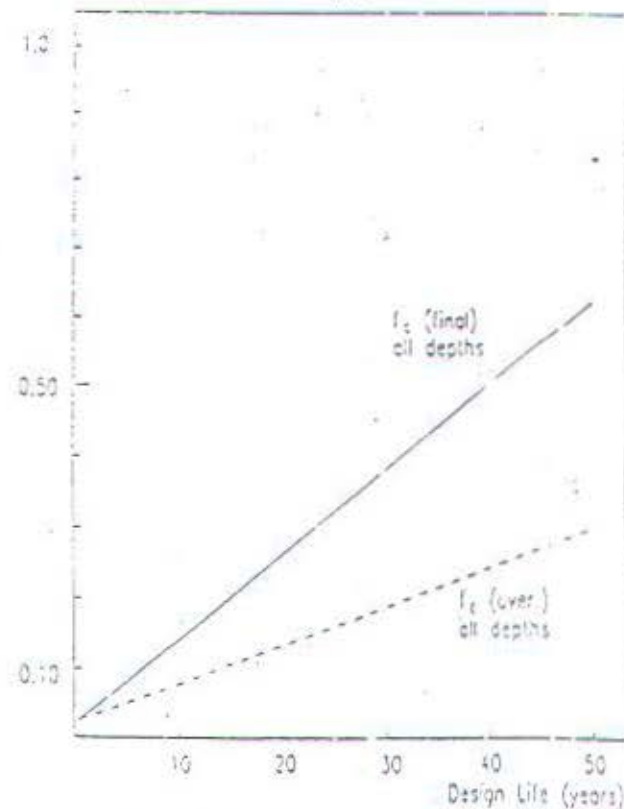
Coating Category II

Coating Breakdown Factor (f_c)



Coating Category III

Coating Breakdown Factor (f_c)



Coating Category IV

Fig. 6.4.1 to 6.4.4. Graphical representation of coating breakdown factor as a function of time.

Table 6.4.1 Constants (k_1 and k_2) for calculation of paint coating breakdown factors. Coating Categories are defined in Paragraph 6.4.4.

Depth (m)	Coating Category			
	I ($k_1 = 0.10$) k_2	II ($k_1 = 0.05$) k_2	III ($k_1 = 0.02$) k_2	IV ($k_1 = 0.01$) k_2
0 - 30	0.10	0.03	0.015	0.012
> 30	0.03	0.02	0.012	0.012

6.4.9 Data for depths > 30 m may be applied to flooded compartments and to closed compartments with free access to air.

6.4.10 Data for Coating Category III, depth > 30 m, are applicable to calculations of cathodic current density demands for concrete reinforcing steel coated with fusion bonded epoxy or equivalent (min. 200 μ m DFT).

6.4.11 The coating breakdown factors as defined above do not include any allowance for damage to paint coatings during fabrication or installation. If such damage is anticipated to be significant, the affected surface area is to be estimated and included in design calculations (7.3/7.4) as bare metal surface.

6.5 PIPELINE COATINGS

6.5.1 The coating systems commonly applied for subsea pipelines and associated risers are highly efficient at reducing the current demand for cathodic protection. It is emphasized, however, that the economic consequences of a marginal cathodic protection design leading to unanticipated retrofitting of anodes and/or repairs of corrosion damage, are exceedingly high compared to the initial installation costs of a pipeline cathodic protection system. It is also common practice to upgrade the design life of subsea pipeline systems. Furthermore, the possibilities of monitoring pipeline cathodic protection are limited. Consideration of these factors justifies a conservative design of pipeline cathodic protection systems.

6.5.2 The coating breakdown factors (f_c) as defined in 6.4 and specified below for pipeline coatings shall be applied for design calculations unless otherwise specified or approved by the Operator. The recommended coating breakdown factors are applicable to pipeline coating systems based on:

- asphalt + concrete weight coating
- fusion bonded epoxy + adhesive + polyethylene or polypropylene
- polychloroprene rubber
- equivalent coating systems based on an inner layer dedicated to corrosion protection and one or more outer layer(s) for mechanical protection, possibly in combination with gravity or thermal insulation functions.

It is further assumed that pipe coatings and field joint coating systems have been selected to be suitable to the maximum design temperature of the pipeline, and that they are applied according to specifications reflecting good industrial practice.

6.7.2 To calculate the initial anode resistance, R_a (initial), the initial anode dimensions are to be inserted into the relevant anode resistance formula of Table 6.7.1.

The final anode resistance, R_a (final), i.e. the resistance when the anode has been consumed to its utilization factor (6.9), shall be assessed as recommended in Paragraphs 6.7.3 to 6.7.7 below.

6.7.3 *All anode types:*

When the anode has been consumed to its utilization factor u , the remaining anode mass m is given by:

$$m \text{ (final)} = m \text{ (initial)} \cdot (1-u)$$

The initial and final volume of the anode can be calculated from the anode mass, density and volume of inert materials. When details of anode inserts are not available, their volume may be either deleted or estimated to provide a conservative approach.

6.7.4 *Slender stand-off anodes:*

Assume a length reduction corresponding to 10% of the net anode mass/volume reduction when the anode has been consumed to its utilization factor (see Section 6.6), i.e.

$$L \text{ (final)} = L \text{ (initial)} - 0.10 \cdot u \cdot L \text{ (initial)}$$

where L (final/initial) refer to the anode length. Assume the final shape is a cylinder. Calculate the final length and radius according to Paragraph 6.7.3 above.

6.7.5 *Long Flush-Mounted Anodes:*

Assume that the final shape is a semi-cylinder. Calculate the final length and radius (or width) as in Paragraph 6.7.4 above.

6.7.6 *Half-Shell Bracelet Anodes:*

For pipeline half-shell bracelet anodes with ends mounted flush with concrete weight coating and gaps filled with mastic, calculate the final exposed surface area from the initial dimensions and net mass, and the utilization factor in Table 6.9.1.

6.7.7 *Short Flush-Mounted Anodes and "Other Shapes" with anode resistance calculated from the formula:*

$$R_a = \frac{0.315 \cdot \rho}{\sqrt{A}}$$

Assume that the final exposed surface area is equivalent to the initial surface area of the anode facing the surface to be protected.

7.4.2 The individual areas (A_c) of each unit to be cathodically protected (7.2) are to be multiplied with the relevant design current density (i_d), and the coating breakdown factor (f_c), if applicable:

$$I_c = A_c \cdot f_c \cdot i_d$$

where I_c is the current demand for a specific surface area, i_d is to be selected from Section 6.3, f_c refers to Table 6.4.1 and paragraphs 6.5.3/6.5.4 for paint coatings and pipeline coatings respectively.

7.4.3 For items with major surface areas of bare (uncoated) metal, the current demands required for initial polarization, I_i (initial), and for re-polarization at the end of the design life, I_f (final), are to be calculated, together with the average current demand I_a (average) required to maintain cathodic protection throughout the design period. For pipelines and other items with high quality coatings, the initial current demand can be deleted in the design calculations.

7.5 CURRENT DRAIN CALCULATIONS

7.5.1 More complex offshore structures often include temporary or permanent components which are not considered to require cathodic protection but will *drain* current from the system. Such items may be components used during installation only, or secondary structural components which can readily tolerate some corrosive wear. Also metallic materials with intrinsic resistance to corrosion in seawater will still drain current from the cathodic protection system.

7.5.2 All items which exert a significant current drain on the cathodic protection system are to be included in the surface area and current demand calculations as specified in sections 7.2 to 7.4.

7.5.3 For components freely exposed to seawater, the design current densities in Tables 6.3.1 and 6.3.2 are to be applied. For current drain to concrete reinforcement, see Paragraph 6.3.10.

7.5.4 For parts of steel skirts and piles to be buried in sediments, a design current density (initial/final and average) of 0.020 A/m² is recommended as a conservative approach. Current drain to open pile internals shall cover 10 x diameter.

7.5.5 Unless otherwise specified by the Operator, a current drain of 5A shall be included for each well when well casings are a part of the object to be protected.

7.5.6 For interfacing cathodic protection systems (e.g. template/pipeline/platform) designed according to this document, no current drain between individual systems needs to be included in the design calculations.

7.6 SELECTION OF ANODE TYPE AND DIMENSIONS

7.6.1 The type of anode (5.8) to be utilized is largely dependent on fabrication, installation and operational parameters. Consequently the anode type is normally specified by the Operator. The anode type is determining for which anode resistance formulas (6.7) and anode utilization factors (6.9) are used in further calculations.

7.6.2 For pipeline bracelet anodes that are mounted flush with the coating, the thickness of the coating layer will be decisive to the anode dimensions.

7.1 ANODE MASS CALCULATIONS

The total net anode mass M (kg) required to maintain cathodic protection throughout the design life t_d (yrs) is to be calculated from I_a (average) for each unit of the object (including any current drain).

$$M = \frac{I_a(\text{average}) \cdot t \cdot 8760}{U \cdot \epsilon}$$

where ϵ (A·h/kg) is the electrochemical efficiency of the anode material (6.6), U is the utilization factor (6.9) and 8760 refers to hours per year.

7.2 CALCULATION OF NUMBER OF ANODES

7.2.1 For the anode type selected (7.6) the number of anodes, anode dimensions and anode net mass shall be selected to meet the requirements for initial/final current output (A) and the current capacity (A·h) which relate to the protection current demand of the protection object.

7.2.2 The anode current output (I_a) is calculated from Ohm's law

$$I_a = \frac{E_a^* - E_p^*}{R_a}$$

where E_a^* (V) is the design closed circuit potential of the anode (6.6.5), R_a (ohm) is the anode resistance (6.7) which is assumed to be equivalent to the total circuit resistance, E_p^* (V) is the design protective potential which is chosen to -0.80 V (Ag/AgCl/seawater).

$\Delta E^* = E_a^* - E_p^*$ is referred to as the design driving voltage.

Note: As the initial and final design current densities in Section 6.3 refer to a protection potential of -0.90 V (Ag/AgCl/seawater) during the initial polarization and any transient depolarization/re-polarization, $E_p^* = -0.80$ V shall always be used for design calculations. This applies also to anaerobic environment, when the protective potential (5.4) has been chosen to -0.90 V (Ag/AgCl/seawater). The latter potential is then applicable as a criterion for monitoring that adequate protection has been achieved, but does not affect the design calculations.

7.2.3 The anode current output is to be calculated for the initial and final life of the cathodic protection system. In the latter case anodes shall be assumed to be consumed to their utilization factor. Guidelines for calculation of final anode resistances are given in Section 6.7.

L A M P I R A N

C

Tabel-tabel Bunga dan Anuitas untuk Pemajemukan Diskret

(Untuk berbagai nilai i dari ¼% sampai 25%)

i = tingkat bunga efektif per periode (biasanya satu tahun)

N = banyaknya periode pemajemukan

$$(F/P, i\%, N) = (1+i)^N$$

$$(A/F, i\%, N) = \frac{i}{(1+i)^N - 1}$$

$$(P/F, i\%, N) = \frac{1}{(1+i)^N}$$

$$(A/P, i\%, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

$$(F/A, i\%, N) = \frac{(1+i)^N - 1}{i}$$

$$(P/G, i\%, N) = \frac{1}{i} \left[\frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} - \frac{N}{(1+i)^N} \right]$$



N	Diketahui P F/P	Diketahui F P/F	Diketahui A F/A	Diketahui A P/A	Diketahui F A/F	Diketahui P A/P	Diketahui G P/G	Diketahui G A/G	N
1	1.0800	0.9259	1.0000	0.9259	1.0000	1.0800	0.0000	0.0000	1
2	1.1664	0.8573	2.0800	1.7833	0.4808	0.5608	0.8570	0.4808	2
3	1.2597	0.7938	3.2464	2.5771	0.3080	0.3880	2.4450	0.9487	3
4	1.3605	0.7350	4.5061	3.3121	0.2219	0.3019	4.6500	1.4040	4
5	1.4693	0.6806	5.8666	3.9927	0.1705	0.2505	7.3720	1.8465	5
6	1.5869	0.6302	7.3359	4.6229	0.1363	0.2163	10.5230	2.2763	6
7	1.7138	0.5835	8.9228	5.2064	0.1121	0.1921	14.0240	2.6937	7
8	1.8509	0.5403	10.6366	5.7466	0.0940	0.1740	17.8060	3.0985	8
9	1.9990	0.5002	12.4876	6.2469	0.0801	0.1601	21.8080	3.4910	9
10	2.1589	0.4632	14.4866	6.7101	0.0690	0.1490	25.9770	3.8713	10
11	2.3316	0.4289	16.6455	7.1390	0.0601	0.1401	30.2660	4.2395	11
12	2.5182	0.3971	18.9771	7.5361	0.0527	0.1327	34.6340	4.5957	12
13	2.7196	0.3677	21.4953	7.9038	0.0465	0.1265	39.0460	4.9402	13
14	2.9372	0.3405	24.2149	8.2442	0.0413	0.1213	43.4720	5.2731	14
15	3.1722	0.3152	27.1521	8.5595	0.0368	0.1168	47.8860	5.5945	15
16	3.4259	0.2919	30.3243	8.8514	0.0330	0.1130	52.2640	5.9046	16
17	3.7000	0.2703	33.7502	9.1216	0.0296	0.1096	56.5880	6.2037	17
18	3.9960	0.2502	37.4502	9.3719	0.0267	0.1067	60.8430	6.4920	18
19	4.3157	0.2317	41.4463	9.6036	0.0241	0.1041	65.0130	6.7697	19
20	4.6610	0.2145	45.7620	9.8181	0.0219	0.1019	69.0900	7.0369	20
21	5.0338	0.1987	50.4229	10.0168	0.0198	0.0998	73.0630	7.2940	21
22	5.4365	0.1839	55.4568	10.2007	0.0180	0.0980	76.9260	7.5412	22
23	5.8715	0.1703	60.8933	10.3711	0.0164	0.0964	80.6730	7.7786	23
24	6.3412	0.1577	66.7648	10.5288	0.0150	0.0950	84.3000	8.0066	24
25	6.8485	0.1460	73.1059	10.6748	0.0137	0.0937	87.8040	8.2254	25
30	10.0627	0.0994	113.2832	11.2578	0.0088	0.0888	103.4560	9.1897	30
35	14.7853	0.0676	172.3168	11.6546	0.0058	0.0858	116.0920	9.9611	35
40	21.7245	0.0460	259.0565	11.9246	0.0039	0.0839	126.0420	10.5699	40
45	31.9204	0.0313	386.5056	12.1084	0.0026	0.0826	133.7330	11.0447	45
50	46.9016	0.0213	573.7702	12.2335	0.0017	0.0817	139.5930	11.4107	50
60	101.2571	0.0099	1253.2130	12.3766	0.0008	0.0808	147.3000	11.9015	60
80	471.9548	0.0021	5886.9350	12.4735	0.0002	0.0802	153.8000	12.3301	80
100	2199.7610	0.0005	27484.5200	12.4943	"	0.0800	155.6110	12.4545	100
x				12.5000		0.0800			x

"Kurang dari 0.0001

Pembayaran Tunggal			Deret Seragam				Gradien Seragam			
Faktor Jumlah Majemuk	Faktor Nilai Sekarang		Faktor Jumlah Majemuk	Faktor Nilai Sekarang	Faktor Dana Tertanam	Faktor Pemulihan Modal	Faktor Nilai Sekarang Gradien	Faktor Deret Seragam Gradien		
Dicari F	Dicari P		Dicari F	Dicari P	Dicari A	Dicari A	Dicari P	Dicari A		
Diketahui P	Diketahui F		Diketahui A	Diketahui A	Diketahui F	Diketahui P	Diketahui G	Diketahui G		
N	F/P	P/F	F/A	P/A	A/F	A/P	P/G	A/G	N	
1	1.0900	0.9174	1.0000	0.9174	1.0000	1.0900	0.0000	0.0000	1	
2	1.1881	0.8417	2.0900	1.7591	0.4785	0.5685	0.8420	0.4785	2	
3	1.2950	0.7722	3.2781	2.5313	0.3051	0.3951	2.3860	0.9426	3	
4	1.4116	0.7084	4.5731	3.2397	0.2187	0.3087	4.5110	1.3925	4	
5	1.5386	0.6499	5.9847	3.8897	0.1671	0.2571	7.1110	1.8282	5	
6	1.6771	0.5963	7.5233	4.4859	0.1329	0.2229	10.0920	2.2498	6	
7	1.8280	0.5470	9.2004	5.0330	0.1087	0.1987	13.3750	2.6574	7	
8	1.9926	0.5019	11.0285	5.5348	0.0907	0.1807	16.8880	3.0512	8	
9	2.1719	0.4604	13.0210	5.9952	0.0768	0.1668	20.5710	3.4312	9	
10	2.3674	0.4224	15.1929	6.4177	0.0658	0.1558	24.3730	3.7978	10	
11	2.5804	0.3875	17.5603	6.8052	0.0569	0.1469	28.2480	4.1510	11	
12	2.8127	0.3555	20.1407	7.1607	0.0497	0.1397	32.1590	4.4910	12	
13	3.0658	0.3262	22.9534	7.4869	0.0436	0.1336	36.0730	4.8182	13	
14	3.3417	0.2992	26.0192	7.7862	0.0384	0.1284	39.9630	5.1326	14	
15	3.6425	0.2745	29.3609	8.0607	0.0341	0.1241	43.8070	5.4346	15	
16	3.9703	0.2519	33.0034	8.3126	0.0303	0.1203	47.5850	5.7245	16	
17	4.3276	0.2311	36.9737	8.5436	0.0270	0.1170	51.2820	6.0024	17	
18	4.7171	0.2120	41.3013	8.7556	0.0242	0.1142	54.8860	6.2687	18	
19	5.1417	0.1945	46.0185	8.9501	0.0217	0.1117	58.3870	6.5236	19	
20	5.6044	0.1784	51.1601	9.1285	0.0195	0.1095	61.7770	6.7674	20	
21	6.1088	0.1637	56.7645	9.2922	0.0176	0.1076	65.0510	7.0006	21	
22	6.6586	0.1502	62.8733	9.4424	0.0159	0.1059	68.2050	7.2232	22	
23	7.2579	0.1378	69.5319	9.5802	0.0144	0.1044	71.2360	7.4357	23	
24	7.9111	0.1264	76.7898	9.7066	0.0130	0.1030	74.1430	7.6384	24	
25	8.6231	0.1160	84.7009	9.8226	0.0118	0.1018	76.9270	7.8316	25	
30	13.2677	0.0754	136.3075	10.2737	0.0073	0.0973	89.0280	8.6657	30	
35	20.4140	0.0490	215.7108	10.5668	0.0046	0.0946	98.3590	9.3083	35	
40	31.4094	0.0318	337.8824	10.7574	0.0030	0.0930	10.5376	9.7957	40	
45	48.3273	0.0207	525.8587	10.8812	0.0019	0.0919	110.5560	10.1603	45	
50	74.3575	0.0134	815.0836	10.9617	0.0012	0.0912	114.3250	10.4295	50	
60	176.0313	0.0057	1944.7920	11.0480	0.0005	0.0905	118.9680	10.7683	60	
80	986.5517	0.0010	10950.5700	11.0998	0.0001	0.0901	122.4310	11.0299	80	
100	5529.0410	0.0002	61422.6800	11.1091	0	0.0901	123.2340	11.0930	100	
x				11.1111		0.0900			x	

N	Dicari F Diketahui P F/P	Dicari P Diketahui F P/F	Dicari F Diketahui A F/A	Dicari P Diketahui A P/A	Dicari A Diketahui F A/F	Dicari A Diketahui P A/P	Dicari P Diketahui G P/G	Dicari A Diketahui G A/G	N
1	1.1000	0.9091	1.0000	0.9091	1.0000	1.1000	0.0000	0.0000	1
2	1.2100	0.8264	2.1000	1.7355	0.4762	0.5762	0.8260	0.4762	2
3	1.3310	0.7513	3.3100	2.4869	0.3021	0.4021	2.3290	0.9366	3
4	1.4641	0.6830	4.6410	3.1699	0.2155	0.3155	4.3780	1.3812	4
5	1.6105	0.6209	6.1051	3.7908	0.1638	0.2638	6.8620	1.8101	5
6	1.7716	0.5645	7.7156	4.3553	0.1296	0.2296	9.6840	2.2236	6
7	1.9487	0.5132	9.4872	4.8684	0.1054	0.2054	12.7630	2.6216	7
8	2.1436	0.4665	11.4359	5.3349	0.0874	0.1874	16.0290	3.0045	8
9	2.3579	0.4241	13.5795	5.7590	0.0736	0.1736	19.4220	3.3724	9
10	2.5937	0.3855	15.9374	6.1446	0.0627	0.1627	22.8910	3.7255	10
11	2.8531	0.3505	18.5312	6.4951	0.0540	0.1540	26.3960	4.0641	11
12	3.1384	0.3186	21.3843	6.8137	0.0468	0.1468	29.9010	4.3884	12
13	3.4523	0.2897	24.5227	7.1034	0.0408	0.1408	33.3770	4.6988	13
14	3.7975	0.2633	27.9750	7.3667	0.0357	0.1357	36.8010	4.9955	14
15	4.1772	0.2394	31.7725	7.6061	0.0315	0.1315	40.1520	5.2789	15
16	4.5950	0.2176	35.9497	7.8237	0.0278	0.1278	43.4160	5.5493	16
17	5.0545	0.1978	40.5447	8.0216	0.0247	0.1247	46.5820	5.8071	17
18	5.5599	0.1799	45.5992	8.2014	0.0219	0.1219	49.6400	6.0526	18
19	6.1159	0.1635	51.1591	8.3649	0.0195	0.1195	52.5830	6.2861	19
20	6.7275	0.1486	57.2750	8.5136	0.0175	0.1175	55.4070	6.5081	20
21	7.4002	0.1351	64.0025	8.6487	0.0156	0.1156	58.1100	6.7189	21
22	8.1403	0.1228	71.4027	8.7715	0.0140	0.1140	60.6890	6.9189	22
23	8.9543	0.1117	79.5430	8.8832	0.0126	0.1126	63.1460	7.1085	23
24	9.8497	0.1015	88.4973	8.9847	0.0113	0.1113	65.4810	7.2881	24
25	10.8347	0.0923	98.3471	9.0770	0.0102	0.1102	67.6960	7.4580	25
30	17.4494	0.0573	164.4940	9.4269	0.0061	0.1061	77.0770	8.1762	30
35	28.1024	0.0356	271.0244	9.6442	0.0037	0.1037	83.9870	8.7086	35
40	45.2593	0.0221	442.5926	9.7791	0.0023	0.1023	88.9530	9.0962	40
45	72.8905	0.0137	718.9048	9.8628	0.0014	0.1014	92.4540	9.3740	45
50	117.3909	0.0085	1163.9090	9.9148	0.0009	0.1009	94.8890	9.5704	50
60	304.4816	0.0033	3034.8164	9.9672	0.0003	0.1003	97.7010	9.8023	60
80	2048.4002	0.0005	20474.0021	9.9951	o	0.1000	99.5610	9.9609	80
100	13780.6123	0.0001	137796.1234	9.9993	o	0.1000	99.9200	9.9927	100
x				10.0000		0.1000			x

*Kurang dari 0.0001

Pembayaran Tunggal			Deret Seragam				Gradien Seragam		
Faktor Jumlah Majemuk	Faktor Nilai Sekarang		Faktor Jumlah Majemuk	Faktor Nilai Sekarang	Faktor Dana Tertanam	Faktor Pemulihan Modal	Faktor Nilai Sekarang Gradien	Faktor Deret Seragam Gradien	
Dicari F	Dicari P		Dicari F	Dicari P	Dicari A	Dicari A	Dicari P	Dicari A	
Diketahui P	Diketahui F		Diketahui A	Diketahui A	Diketahui F	Diketahui P	Diketahui G	Diketahui G	
N	F/P	P/F	F/A	P/A	A/F	A/P	P/G	A/G	N
1	1.1200	0.8929	1.0000	0.8929	1.0000	1.1200	0.0000	0.0000	1
2	1.2544	0.7972	2.1200	1.6901	0.4717	0.5917	0.7970	0.4717	2
3	1.4049	0.7118	3.3744	2.4018	0.2963	0.4163	2.2210	0.9246	3
4	1.5735	0.6355	4.7793	3.0373	0.2092	0.3292	4.1270	1.3589	4
5	1.7623	0.5674	6.3528	3.6048	0.1574	0.2774	6.3970	1.7746	5
6	1.9738	0.5066	8.1152	4.1114	0.1232	0.2432	8.9300	2.1720	6
7	2.2107	0.4523	10.0890	4.5638	0.0991	0.2191	11.6440	2.5515	7
8	2.4760	0.4039	12.2997	4.9676	0.0813	0.2013	14.4710	2.9131	8
9	2.7731	0.3606	14.7757	5.3282	0.0677	0.1877	17.3560	3.2574	9
10	3.1058	0.3220	17.5487	5.6502	0.0570	0.1770	20.2540	3.5847	10
11	3.4785	0.2875	20.6546	5.9377	0.0484	0.1684	23.1290	3.8953	11
12	3.8960	0.2567	24.1331	6.1944	0.0414	0.1614	25.9520	4.1897	12
13	4.3635	0.2292	28.0291	6.4235	0.0357	0.1557	28.7020	4.4683	13
14	4.8871	0.2046	32.3926	6.6282	0.0309	0.1509	31.3620	4.7317	14
15	5.4736	0.1827	37.2797	6.8109	0.0268	0.1468	33.9200	4.9803	15
16	6.1304	0.1631	42.7533	6.9740	0.0234	0.1434	36.3670	5.2147	16
17	6.8660	0.1456	48.8837	7.1196	0.0205	0.1405	38.6970	5.4353	17
18	7.6900	0.1300	55.7497	7.2497	0.0179	0.1379	40.9080	5.6427	18
19	8.6128	0.1161	63.4397	7.3658	0.0158	0.1358	42.9980	5.8375	19
20	9.6463	0.1037	72.0524	7.4694	0.0139	0.1339	44.9680	6.0202	20
21	108.0000	0.0926	81.6987	7.5620	0.0122	0.1322	46.8190	6.1913	21
22	12.1003	0.0826	92.5026	7.6446	0.0108	0.1308	48.5540	64.0000	22
23	13.5523	0.0738	104.6029	7.7184	0.0096	0.1296	50.1780	6.5010	23
24	15.1786	0.0659	118.1552	7.7843	0.0085	0.1285	51.6930	6.6406	24
25	17.0001	0.0588	133.3339	7.8431	0.0075	0.1275	53.1050	6.7708	25
30	29.9599	0.0334	241.3327	8.0552	0.0041	0.1241	58.7820	7.2974	30
35	52.7996	0.0189	431.6635	8.1755	0.0023	0.1223	62.6050	7.6577	35
40	93.0510	0.0107	767.0914	8.2438	0.0013	0.1213	65.1160	7.8988	40
45	164.0000	0.0061	1358.2300	8.2825	0.0007	0.1207	66.7340	8.0572	45
50	289.0022	0.0035	2400.0180	8.3045	0.0004	0.1204	67.7620	8.1597	50
60	897.5969	0.0011	7471.6411	8.3240	0.0001	0.1201	68.8100	8.2664	60
80	8658.4831	0.0001	72145.6925	8.3324	=	0.1200	69.3590	8.3241	80
100	83522.2657	"	696010.5477	8.3332	=	0.1200	69.4340	8.3321	100
x				8.3333		0.1200			x

El C-15 Pembiayaan Dikawatir $i = 15\%$